
TUGAS AKHIR - MN 141581

**STUDI PERBANDINGAN KECEPATAN DAN
KETELITIAN PENGUJIAN *MAGNETIC PARTICLE
TESTING* (MT) DAN *EDDY CURRENT TESTING* (ECT)
PADA MATERIAL BAJA KARBON**

Riznanda Rais

N.R.P. 4111 100 105

Dosen Pembimbing

Wing Hendroprasetyo Akbar Putra, S.T., M.Eng.

Jurusan Teknik Perkapalan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2015

FINAL PROJECT - MN 141581

**COMPARATIVE STUDY OF SPEED AND PRECISION
BETWEEN MAGNETIC PARTICLE TESTING (MT) AND
EDDY CURRENT TESTING (ECT) ON CARBON STEEL**

Riznanda Rais

N.R.P. 4111 100 105

Supervisor

Wing Hendroprasetyo Akbar Putra, S.T., M.Eng.

Departemen of Naval Architecture & Shipbuilding Engineering

Faculty of Marine Technology

Sepuluh Nopember Institute of Technology

Surabaya

2015

LEMBAR PENGESAHAN

STUDI PERBANDINGAN KECEPATAN DAN KETELITIAN PENGUJIAN *MAGNETIC PARTICLE TESTING (MT)* DAN *EDDY CURRENT TESTING (ECT)* PADA MATERIAL BAJA KARBON

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Pada

Bidang Keahlian Rekayasa Perkapalan – Konstruksi dan Kekuatan Kapal
Jurusan Teknik Perkapalan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

RIZNANDA RAIS

N.R.P. 4111 100 105

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

Wing Hendroprasetyo Akbar Putra, S.T., M.Eng.



SURABAYA, 30 JULI 2015

LEMBAR REVISI

STUDI PERBANDINGAN KECEPATAN DAN KETELITIAN PENGUJIAN *MAGNETIC PARTICLE TESTING* (MT) DAN *EDDY CURRENT TESTING* (ECT) PADA MATERIAL BAJA KARBON

TUGAS AKHIR

Telah direvisi sesuai hasil sidang Ujian Tugas Akhir

Tanggal 2 Juli 2015

Bidang Keahlian Rekayasa Perkapalan – Konstruksi dan Kekuatan Kapal

Jurusan Teknik Perkapalan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember


Oleh:

RIZNANDA RAIS

N.R.P. 4111 100 105

Disetujui oleh Tim Penguji Ujian Tugas Akhir:

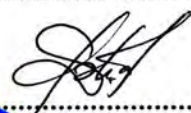
Muhammad Nurul Misbach, S.T., M.T.


.....

Dedi Budi Purwanto, S.T., M.T.


.....

Septia Hardy Sujatanti, S.T., M.T.


.....

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

Wing Hendroprasetyo Akbar Putra, S.T., M.Eng.



SURABAYA, 30 JULI 2015

STUDI PERBANDINGAN KECEPATAN DAN KETELITIAN PENGUJIAN *MAGNETIC PARTICLE TESTING* (MT) DAN *EDDY CURRENT TESTING* (ECT) PADA MATERIAL BAJA KARBON

Nama : Riznanda Rais
NRP : 4111 100 105
Jurusan : Teknik Perkapalan
Dosen Pembimbing : Wing Hendropresetyo Akbar Putra, S.T., M.Eng.

ABSTRAK

Pada proses pengelasan seringkali terjadi kerusakan atau cacat, karena itu harus dilakukan suatu pengujian untuk memastikan bahwa material tersebut aman. *Magnetic particle testing* adalah metode pengujian yang sering digunakan untuk mendeteksi kerusakan atau cacat pada permukaan material. Sementara itu metode ini memiliki banyak keterbatasan yang terkait dengan produktivitas yang rendah karena membutuhkan waktu pengerjaan yang lama seperti: pembersihan permukaan, magnetisasi-demagnetisasi, dan lain sebagainya. Selain itu diperlukan biaya yang cukup besar untuk pengujian banyak material dan ketidakmampuan untuk memperkirakan kedalaman kerusakan. Semua faktor ini mendorong penggunaan metode pengujian baru untuk bersaing dengan *magnetic particle testing*. Saat ini *eddy current testing* adalah salah satu metode yang dapat digunakan untuk mendeteksi kerusakan atau cacat pada permukaan material.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perbandingan kecepatan dan ketelitian pengujian antara *magnetic particle testing* (MT) dan *eddy current testing* (ECT). Penelitian ini dilakukan pada enam spesimen uji dengan dimensi 300 mm × 130 mm × 6 mm pada material baja karbon rendah A36. Diberikan las permukaan di tengah spesimen uji dan tiga cacat buatan dibuat dengan *electrical discharge machining* (EDM) pada *weld metal* disetiap spesimen uji, kemudian tiga spesimen uji dengan *magnetic particle testing* dan tiga spesimen uji dengan *eddy current testing*.

Dari hasil pengujian diketahui bahwa *eddy current testing* memiliki kecepatan pengujian lebih cepat 0.042 mm/s atau 6.63% dari *magnetic particle testing* dalam mendeteksi kerusakan permukaan. Hal tersebut dikarenakan *eddy current testing* tidak memerlukan proses persiapan atau pembersihan permukaan material dan proses demagnetisasi, namun *eddy current testing* perlu dikalibrasi sebelum digunakan. Kedua pengujian ini memiliki tingkat ketelitian yang sangat baik dalam mendeteksi kerusakan atau cacat permukaan, tetapi *eddy current testing* dalam penelitian ini tidak dapat menentukan secara tepat ukuran dan kedalaman indikasi tersebut, hanya dapat diperkirakan berdasarkan perbedaan antara sinyal *phase* dan *amplitude* suatu indikasi dengan indikasi lainnya.

Kata Kunci: Eddy Current Testing, Kecepatan, Ketelitian, Magnetic Particle Testing.

COMPARATIVE STUDY OF SPEED AND PRECISION BETWEEN MAGNETIC PARTICLE TESTING (MT) AND EDDY CURRENT TESTING (ECT) ON CARBON STEEL

Name of Student : Riznanda Rais
Student Identify Number : 4111 100 105
Department / Faculty : Teknik Perkapalan / Teknologi Kelautan
Supervisor : Wing Hendroprasetyo Akbar Putra, S.T., M.Eng.

ABSTRACT

Defect often occurred on welding process, therefore an examination shall be done in order to ensure it's safe and sound. Magnetic particle testing method is very popular with surface flaw detection. Whereas this method have many limitations connected with low productivity due to time-taking operations such as surface cleaning, low reliability due to the magnetization-demagnetization process, surface condition effect, high costs for bulk material and impossibility to estimate the flaw depth. All these factors motivate the new inspection technology creation possible to enter into competition with magnetic particle method. Eddy current testing method (ECT) can be used for surface flaw detection.

The purpose of this research is to analyze speed and precision of examination in comparison between magnetic particle testing (MT) and eddy current testing (ECT). This research was conducted on six test samples having dimension of 300 mm × 130 mm × 6 mm on A36 low carbon steel with surface welding in the middle of test samples and three artificial defect was made with electrical discharge machining (EDM) on weld metal in each test samples. Then test samples were divided into three materials with magnetic particle testing method and three materials with eddy current testing.

From the test result it is known that eddy current testing method has better speed examination of 0.042 mm/s or 6.63% than magnetic particle testing method for surface flaw detection. Since eddy current testing doesn't require either pre surface cleaning or demagnetization on specimen but eddy current testing need calibration before used. The probe frequency and gain settings shall be selected to provide a suitable depth penetration with the material so that the depth of the deepest indication is distinguishable from the next smaller indication. On the other hand, both magnetic particle testing and eddy current testing have an excellent level of precision in detecting surface flaw but eddy current testing in this research can not determine the exact size and depth of these indications, only can be estimated based on the difference between signal phase and amplitude of an indication with other indication.

Keyword: Eddy Current Testing, Speed, Precision, Magnetic Particle Testing.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirabbil'alamin. Puji syukur atas kehadiran Allah SWT, karena rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul **“STUDI PERBANDINGAN KECEPATAN DAN KETELITIAN PENGUJIAN *MAGNETIC PARTICLE TESTING* (MT) DAN *EDDY CURRENT TESTING* (ECT) PADA MATERIAL BAJA KARBON”** dengan baik. Tidak lupa juga shalawat dan salam penulis curahkan kepada junjungan kita Nabi Muhammad SAW yang telah membawa kita menuju alam yang penuh ilmu pengetahuan.

1. Bapak Wing Hendroprasetyo Akbar Putra, S.T., M.Eng. selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu, ilmu, untuk membimbing penulis serta memberikan arahan dan masukan selama pengerjaan tugas akhir.
2. Papa Ir. Rizal Razman, M.M., Mama Ir. Nus Hutami Soemargo dan Kakak dr. Ritami Masita selaku keluarga penulis yang sangat penulis cintai dan sayangi, terima kasih atas kasih sayang, doa dan dukungannya.
3. Bapak M. Nurul Misbah, S.T., M.T. selaku dosen wali penulis selama menjalani perkuliahan di Jurusan Teknik Perkapalan FTK-ITS.
4. Bapak Prof. Ir. I Ketut Aria Pria Utama, M.Sc., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Perkapalan.
5. Staf Laboratorium Konstruksi dan Kekuatan serta Bapak Sigit Suryo Prakoso.
6. Keluarga P-51 (CENTERLINE) yang selalu menemani dan mendukung.
7. PARADISO, PASTEL, dan Wahyu Hidayat atas kerja samanya selama mengerjakan tugas-tugas merancang dan perkuliahan.
8. Dan semua pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan tugas akhir ini, yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari dalam menyelesaikan tugas akhir ini terdapat banyak kekurangan dan jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi kesempurnaan tugas akhir ini.

Harapan penulis semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca serta kelak ada usaha untuk menyempurnakan tugas akhir ini.

Penulis

Surabaya, 30 Juli 2015

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
LEMBAR REVISI	ii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL	xii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan.....	3
1.5 Manfaat.....	3
1.6 Hipotesis.....	3
1.7 Sistematika Penulisan.....	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 <i>Non-destructive Testing</i> (NDT).....	5
2.2 <i>Magnetic Particle Testing</i> (MT)	6
2.2.1 Magnet.....	6
2.2.2 Medan Magnet (<i>Magnetic Field</i>)	8
2.2.3 Kerapatan <i>Flux</i> (<i>Flux Density</i>).....	8
2.2.4 Klasifikasi Material <i>Magnetic</i>	9
2.2.5 Prinsip Pengujian <i>Magnetic Particle Testing</i> (MT)	9
2.2.6 Klasifikasi Indikasi.....	11
2.2.7 Keuntungan Metode MT	11
2.2.8 Keterbatasan Metode MT	12
2.3 <i>Electromagnetic Testing</i> (ET)	13

2.3.1	<i>Eddy Current Testing (ECT)</i>	13
2.3.2	<i>Remote Field Testing (RFT)</i>	20
2.3.3	<i>Alternating Current Field Measurement (ACFM)</i>	23
2.3.4	<i>Flux Leakage Testing (FLT)</i>	25
2.4	Aplikasi Penggunaan NDT (MT dan ECT) Pada Bidang Perkapalan	26
2.4.1	<i>Magnetic Particle Testing (MT)</i>	26
2.4.2	<i>Eddy Current Testing (ECT)</i>	26
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....		27
3.1	Diagram Alir.....	27
3.2	Bahan Penelitian.....	29
3.2.1	Material	29
3.2.1	Kawat Las.....	29
3.3	Pembuatan Spesimen Uji	30
3.3.1	Proses Pengelasan Permukaan Material	30
3.3.2	Proses Pembuatan <i>Crack</i> Pada <i>Weld Metal</i> Spesimen Uji.....	33
3.4	Pengujian <i>Magnetic Particle Testing (MT)</i>	36
3.4.1	Persiapan Pengujian <i>Magnetic Particle Testing</i>	36
3.4.2	Prosedur Pengujian <i>Magnetic Particle Testing</i>	38
3.5	Pengujian <i>Eddy Current Testing (ECT)</i>	43
3.5.1	Persiapan Pengujian <i>Eddy Current Testing</i>	43
3.5.2	Prosedur Pengujian <i>Eddy Current Testing</i>	45
BAB 4 ANALISA DAN PEMBAHASAN		47
4.1	Analisa Hasil Pengujian <i>Magnetic Particle Testing (MT)</i>	47
4.1.1	Kecepatan Pengujian <i>Magnetic Particle Testing</i>	48
4.1.2	Ketelitian Pengujian <i>Magnetic Particle Testing</i>	52
4.2	Analisa Hasil Pengujian <i>Eddy Current Testing (ECT)</i>	53
4.2.1	Kecepatan Pengujian <i>Eddy Current Testing</i>	53
4.2.2	Ketelitian Pengujian <i>Eddy Current Testing</i>	58
4.3	Analisa Hasil Kedua Pengujian.....	64

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.....	67
5.1 Kesimpulan.....	67
5.2 Saran.....	67
DAFTAR PUSTAKA.....	69

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Ukuran <i>crack</i> buatan.....	34
Tabel 4.1. Data hasil waktu pengujian <i>magnetic particle testing</i>	48
Tabel 4.2. Data hasil kecepatan pengujian <i>magnetic particle testing</i> ke-1.....	48
Tabel 4.3. Data hasil kecepatan pengujian <i>magnetic particle testing</i> ke-2.....	49
Tabel 4.4. Data hasil pengujian <i>magnetic particle testing</i>	50
Tabel 4.5. Data hasil interpretasi MT-01.....	52
Tabel 4.6. Data hasil interpretasi MT-02.....	52
Tabel 4.7. Data hasil interpretasi MT-03.....	52
Tabel 4.8. Data hasil waktu pengujian <i>eddy current testing</i>	54
Tabel 4.9. Data hasil kecepatan pengujian <i>eddy current testing</i> ke-1.	54
Tabel 4.10. Data hasil kecepatan pengujian <i>eddy current testing</i> ke-2.	54
Tabel 4.11. Data hasil pengujian <i>eddy current testing</i>	56
Tabel 4.12. Data hasil interpretasi ET-01.....	58
Tabel 4.13. Data hasil interpretasi ET-02.....	58
Tabel 4.14. Data hasil interpretasi ET-03.....	58
Tabel 4.15. Data hasil interpretasi pengujian MT untuk indikasi tambahan.	59
Tabel 4.16. Rekapitulasi data hasil kecepatan kedua pengujian.....	64
Tabel 4.17. Rekapitulasi data hasil ketelitian kedua pengujian.....	64

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. NDT <i>Methods</i>	5
Gambar 2.2. Gaya magnet terbesar pada ujung-ujung kutub.....	7
Gambar 2.3. Bentuk-bentuk magnet.	7
Gambar 2.4. Magnet yang dipotong menimbulkan magnet baru.....	8
Gambar 2.5. Distorsi lokal akibat adanya diskontinuitas.	10
Gambar 2.6. Secara sederhana penggambaran pengujian MT.....	10
Gambar 2.7. Kaidah tangan kanan.....	14
Gambar 2.8. Hubungan frekuensi, konduktivitas dan permeabilitas.	15
Gambar 2.9. Skema sederhana metode <i>eddy current test</i>	17
Gambar 2.10. <i>Test-Coils</i> ECT.....	18
Gambar 2.11. Skema RFT probe.	20
Gambar 2.12. Posisi receiving coil/detector coil.	21
Gambar 2.13. Perubahan medan magnet karena adanya indikasi.....	21
Gambar 2.14. Zona pada RFT.....	23
Gambar 2.15. Pengujian ACFM.	24
Gambar 2.16. Proses FLT pada material yang baik.....	25
Gambar 2.17. Proses FLT pada material yang terdapat indikasi.	26
Gambar 3.1. Diagram alir penelitian.....	28
Gambar 3.2. Material pengujian.	29
Gambar 3.3. Kawat las.....	29
Gambar 3.4. Alur las.....	30
Gambar 3.5. <i>Ampere range</i>	31
Gambar 3.6. Proses pengelasan permukaan.....	31
Gambar 3.7. Pembersihan <i>spatter</i>	32
Gambar 3.8. Permukaan spesimen uji sudah dihaluskan dan dibersihkan.	32
Gambar 3.9. Electrical Discharge Machining.....	33
Gambar 3.10. Perkiraan letak <i>crack</i> pada spesimen uji.	34
Gambar 3.11. <i>Wire master</i> untuk EDM.	35
Gambar 3.12. Proses pembuatan <i>crack</i> dengan EDM.	35
Gambar 3.13. Peralatan pengujian <i>magnetic particle testing</i>	36

Gambar 3.14. AC <i>yoke</i>	37
Gambar 3.15. White contrast paint (kiri) dan visible wet particle (kanan).....	38
Gambar 3.16. Intensitas cahaya saat pengujian.	40
Gambar 3.17. Jarak <i>overlap</i>	40
Gambar 3.18. Proses MT dengan teknik <i>countinous</i>	41
Gambar 3.19. Interpretasi hasil pengujian.	41
Gambar 3.20. Proses pembersihan material.....	42
Gambar 3.21. Verifikasi medan magnet dengan gaussmeter.....	42
Gambar 3.22. Peralatan pengujian <i>eddy current testing</i>	43
Gambar 3.23. Right angle probe.	44
Gambar 3.24. Eddy current testing machine.....	44
Gambar 3.25. Konfigurasi alat ECT.	46
Gambar 3.26. Indikasi pada spesimen uji.	46
Gambar 4.1. Grafik waktu pengujian <i>magnetic particle testing</i>	51
Gambar 4.2. Grafik kecepatan pengujian <i>magnetic particle testing</i>	51
Gambar 4.3. Grafik waktu pengujian <i>eddy current testing</i>	57
Gambar 4.4. Grafik kecepatan pengujian <i>eddy current testing</i>	57
Gambar 4.5. Hasil sinyal dengan <i>crack</i> buatan 2 mm.	60
Gambar 4.6. Hasil sinyal dengan <i>crack</i> buatan 3 mm.	61
Gambar 4.7. Hasil sinyal dengan <i>crack</i> buatan 5 mm.	61
Gambar 4.8. Indikasi liner sepanjang 3.5 mm pada plat ET-01.	62
Gambar 4.9. Indikasi liner sepanjang 4.0 mm pada plat ET-01.	62
Gambar 4.10. Indikasi liner sepanjang 2.5 mm pada plat ET-03.	63
Gambar 4.11. Indikasi liner sepanjang 4.4 mm pada plat ET-03.	63

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam pengelasan suatu material seringkali ditemukan adanya kerusakan. Secara umum kerusakan pada material dapat dibedakan menjadi dua, yaitu kerusakan yang terjadi pada permukaan dan kerusakan di bawah permukaan. Kerusakan yang terjadi di permukaan dengan mudah dapat diketahui, sedangkan kerusakan yang terjadi di bawah permukaan sulit untuk dilihat secara visual. Apabila kerusakan tersebut tidak dapat diketahui maka dapat menyebabkan kegagalan pada material tersebut, sehingga diperlukan *non-destructive testing* (NDT) agar dapat mengurangi dampak yang ditimbulkan.

Secara umum *non-destructive testing* (NDT) dilakukan dengan tanpa merusak bagian konstruksi yang diuji. [Wiryosumanto dan Okumura, 1996]. *Non-destructive testing* adalah bagian dari pengendalian mutu (*quality control*) dan bersifat saling melengkapi dengan metode yang sudah ada sebelumnya. *Non-destructive testing* bukan hanya sebuah pengujian yang digunakan untuk menolak suatu material tetapi juga memastikan bahwa material tersebut baik. NDT menggunakan berbagai metode pengujian, dimana tidak ada satu metode pengujian yang dapat memenuhi semua persyaratan (misalnya jenis material uji, kondisi pengujian, letak kerusakan).

Magnetic particle testing (MT) adalah salah satu metode NDT, metode yang sering digunakan untuk mendeteksi kerusakan permukaan dari material *ferromagnetic*. Metode ini sering digunakan karena sederhana dan memungkinkan untuk mengevaluasi material dengan bentuk yang tidak teratur. Sementara itu metode MT memiliki banyak keterbatasan yang terkait dengan produktivitas yang rendah karena membutuhkan waktu pengerjaan yang lama, seperti: pembersihan permukaan, magnetisasi-demagnetisasi, pembersihan setelah pengujian dan lain sebagainya. Selain itu diperlukan biaya yang cukup besar untuk pengujian banyak material dan ketidakmampuan untuk memperkirakan kedalaman kerusakan.

Karena keterbatasan metode *magnetic particle testing* (MT) dalam mendeteksi kerusakan pada material, maka dapat digunakan metode *eddy current testing* (ECT), dimana metode ini lebih efektif untuk mendeteksi kerusakan pada permukaan material dan kerusakan dibawah permukaan material, terutama pada pengujian material yang sederhana (dengan

permukaan yang datar dan halus). Berbeda dengan metode MT dimana material yang diuji harus dilakukan proses magnetisasi-demagnetisasi, pada proses ECT tidak. Secara umum proses *eddy current testing* (ECT) adalah proses menginduksikan arus listrik (*magnetic field*) dari *probe/coil* ke material dan mengamati reaksi yang dihasilkan antara medan magnet yang teribat. [Hellier, 2003]. *Eddy current testing* adalah salah satu metode yang menggunakan prinsip "*electromagnetism*" sebagai dasar untuk melakukan pemeriksaan. NDT selalu menjadi standar pengujian untuk melihat kualitas hasil pekerjaan (*quality assurance*) dari suatu benda atau material. Masalah efisiensi waktu dan hasil dari pengujian selalu menjadi pertimbangan dalam memilih metode NDT, selain itu faktor operator (NDT *personnel*) juga dapat mempengaruhi hasil dari kecepatan pengujian dan ketelitian pengujian tersebut.

Berdasarkan permasalahan yang ada maka penulis tergerak untuk melakukan studi perbandingan kecepatan dan ketelitian antara pengujian *Magnetic particle testing* (MT) dan *Eddy current testing* (ECT) pada material baja karbon.

1.2 Rumusan Masalah

Sehubungan dengan latar belakang di atas, permasalahan yang akan dikaji dalam Tugas Akhir ini adalah

1. Bagaimana perbandingan kecepatan pengujian antara *Magnetic Particle Testing* (MT) dan *Eddy Current Testing* (ECT) dalam mendeteksi kerusakan permukaan.
2. Bagaimana perbandingan ketelitian pengujian antara *Magnetic Particle Testing* (MT) dan *Eddy Current Testing* (ECT) dalam mendeteksi kerusakan permukaan.

1.3 Batasan Masalah

Batasan-batasan masalah yang ada dalam penelitian ini adalah:

- Material yang digunakan adalah baja karbon A36 dengan ukuran 300 x 130 x 6 mm sebanyak enam buah.
- Diberikan pengelasan permukaan dengan metode *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW) di tengah spesimen uji dengan elektrode E 7018
- Pembuatan dikontinuitas (*crack*) pada setiap spesimen uji dengan menggunakan *Electrical Discharge Machining* (EDM) dengan panjang 2 mm, 3 mm, dan 5 mm pada setiap spesimen uji dengan kedalaman *crack* buatan 3 mm dan lebar 0.5 mm.

- *Crack* pada spesimen uji terletak pada bagian *weld metal* dan dibuat setelah dilakukan pengelasan di permukaan spesimen uji.
- Pengujian dilakukan pada enam spesimen uji, tiga spesimen uji dengan *magnetic particle testing (visible wet method)* dan tiga spesimen uji dengan *eddy current testing*.
- Operator (*NDT personnel*) adalah memiliki kualifikasi untuk melakukan pengujian pada metode NDT tersebut.

1.4 Tujuan

Tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- Mengetahui perbandingan kecepatan pengujian antara *magnetic particle testing* (MT) dan *eddy current testing* (ECT).
- Mengetahui perbandingan efektifitas pembacaan dikontinuitas antara *magnetic particle testing* (MT) dan *eddy current testing* (ECT).

1.5 Manfaat

Dari Tugas Akhir ini, diharapkan dapat diambil manfaat sebagai berikut :

- Dapat memperkirakan waktu yang dibutuhkan untuk melakukan pengujian MT dan ECT
- Diharapkan dapat menjadi acuan dalam menentukan metode NDT antara MT dan ECT dari segi efisiensi waktu dan efektifitas pembacaan diskontinuitas.

1.6 Hipotesis

Hipotesis dari tugas akhir ini adalah:

Non-destructive testing (NDT) dengan metode *eddy current testing* (ECT) memiliki kecepatan lebih tinggi dan tingkat ketelitian yang lebih teliti dibandingkan metode *magnetic particle testing* (MT) dalam mendeteksi kerusakan pada permukaan material baja karbon.

1.7 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan laporan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

KATA PENGANTAR

ABSTRAK

DAFTAR ISI

DAFTAR GAMBAR

DAFTAR TABEL

DAFTAR GRAFIK

BAB I PENDAHULUAN

Berisikan konsep penyusunan Tugas Akhir yang meliputi latar belakang, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, sistematika penelitian.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Berisikan teori-teori yang mendukung dan relevan dengan penelitian. Teori tersebut dapat berupa penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya seperti Jurnal, Tugas Akhir, Tesis, dan Literatur yang relevan dengan topik penelitian.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Berisikan langkah-langkah atau kegiatan dalam pelaksanaan Tugas Akhir yang mencerminkan alur berpikir dari awal pembuatan Tugas Akhir sampai dengan selesai, Dalam Bab ini juga dibahas mengenai pengumpulan data-data yang menunjang Tugas Akhir.

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Berisikan tentang analisa data dan pembahasan dari perbandingan kecepatan dan ketelitian pengujian *magnetic particle testing* dan *eddy current testing* dalam membaca *crack*.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Berisikan hasil analisa dan evaluasi yang didapat dan saran-saran untuk pengembangan lebih lanjut yang berkaitan dengan materi yang terdapat dalam Tugas Akhir ini.

DAFTAR PUSTAKA

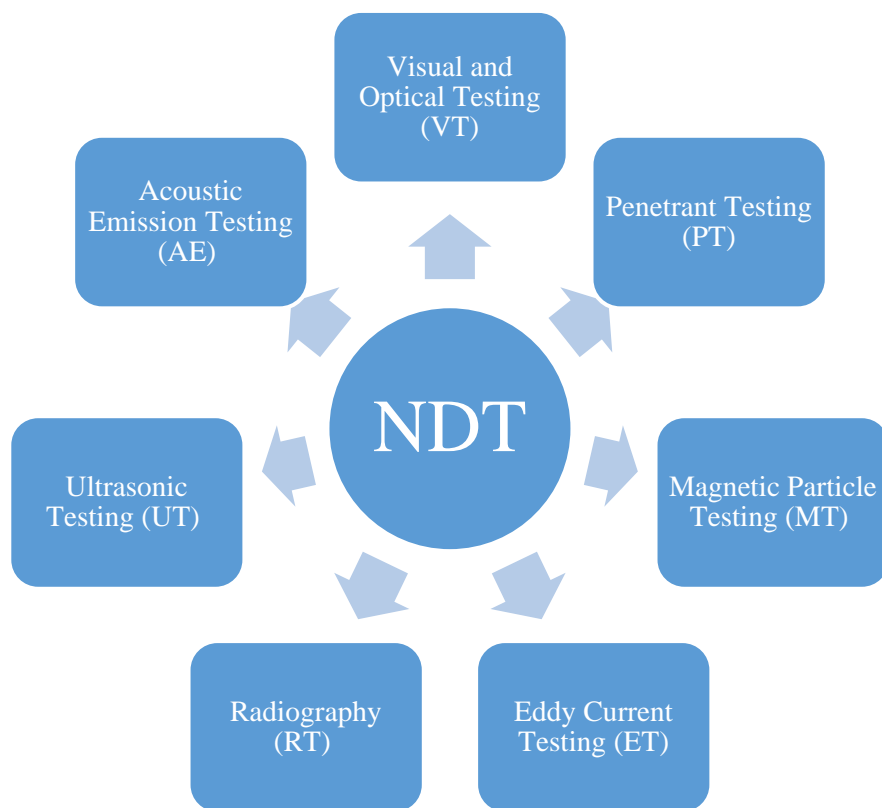
BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Non-destructive Testing* (NDT)

Non-destructive testing (NDT) adalah pemeriksaan, pengujian atau penilaian yang dilakukan pada benda yang diuji tanpa mengganti atau mengubah objek dengan cara apapun untuk menentukan ada tidaknya diskontinuitas yang dapat mempengaruhi kegunaan atau kinerja dari benda tersebut. [Hellier, 2003]. NDT memberikan keseimbangan yang sangat baik antara pengendalian mutu (*quality control*) dan efektivitas biaya (*cost effectiveness*).

Metode pemeriksaan NDT selalu berkembang, setidaknya ada enam metode yang sering digunakan:



Gambar 2.1. NDT *Methods*.

[https://www.nde-ed.org/EducationResources/CommunityCollege/NDTIntro/cc_intro001.htm]

Dalam dunia industri, NDT berperan penting, seperti:

- Pemeriksaan material sebelum diproses
- Evaluasi material selama proses pengerjaan
- Pemeriksaan *final product*
- Evaluasi produk atau struktur yang sudah bekerja.
- Mencegah kecelakaan/kegagalan (akibat material)

Singkatnya, NDT adalah teknologi yang sangat penting yang dapat memberikan informasi yang sangat berguna mengenai kondisi aktual dari objek yang diperiksa, tentunya dilakukan sesuai dengan standard, diperiksa, serta dilakukan oleh tenaga ahli. [Hellier, 2003]

2.2 Magnetic Particle Testing (MT)

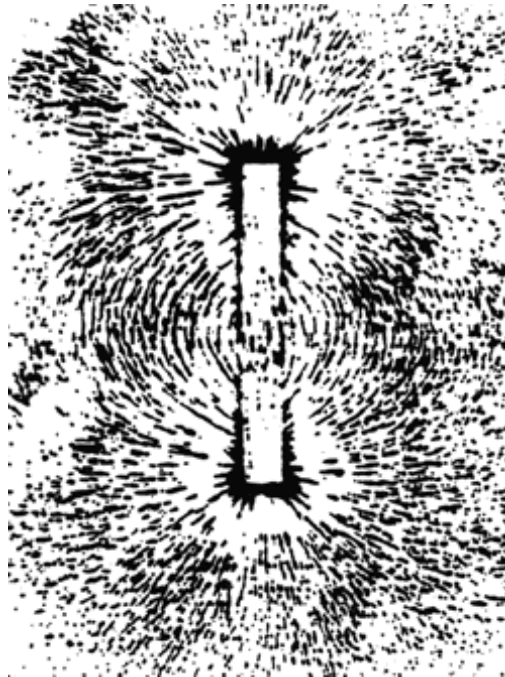
Magnetic Particle Testing (MT) adalah metode pengujian untuk menentukan lokasi kerusakan permukaan (*surface*) dan dibawah permukaan (*subsurface*) pada material yang bersifat *ferromagnetic*. [ASM, Volume 17. *Nondestructive Evaluation and Quality Control*, 2005]. MT menggunakan hukum magnetism, karena itu terbatas pada pemeriksaan bahan-bahan yang dapat dilakukan proses magnetisasi. Hanya material yang dikasifikasikan sebagai *ferromagnetic* yang dapat efektif dilakukan pemeriksaan dengan metode MT. [Hellier, 2003]

2.2.1 Magnet

Magnet adalah suatu bahan atau material yang mempunyai kemampuan untuk menarik besi/baja dan material jenis logam lainnya serta menghasilkan medan magnet pada benda tersebut. Pada benda yang termagnetisasi selalu terdapat dua kutub, yakni kutub utara dan kutub selatan, dimana sebagian atau seluruh domain magnetnya memiliki orientasi kutub utara dan selatan. Daerah pada magnet yang memiliki kemampuan menarik terbesar yaitu pada daerah ujung magnet. Sehingga timbul gaya-gaya magnet pada ujung-ujung kutub yang menyebabkan adanya garis-garis magnet atau arah dari gaya magnet tersebut. Dapat dikatakan bahwa kemampuan untuk menarik atau menolak benda lain terkonsentrasi pada satu daerah yaitu pada daerah kutub. [Smilie, 2000]

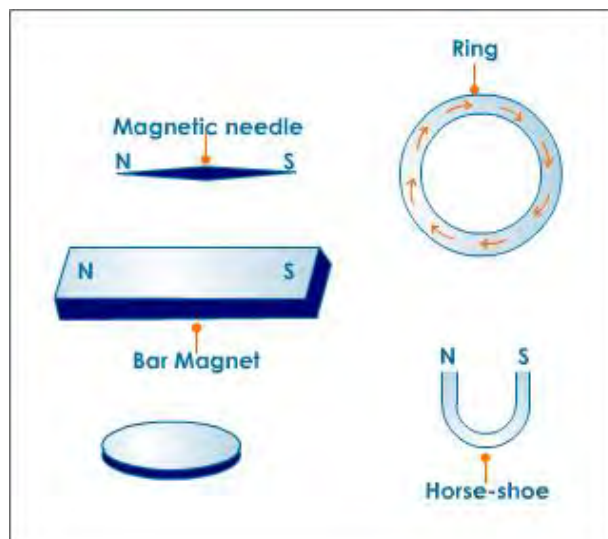
Magnet biasanya dibagi menjadi dua jenis utama: magnet permanen (*permanent magnet*) dan magnet sementara (*temporary magnet*). Magnet permanen dapat mempertahankan sifat kemagnetan dalam jangka waktu yang cukup panjang sedangkan magnet sementara dapat mempertahankan sifat kemagnetan dalam kondisi tertentu seperti

adanya magnet yang kuat atau arus listrik disekitarnya. Magnet tersedia dalam berbagai bentuk, sebagai contoh magnet batang (*bar magnet*), magnet tapal kuda/ladam (*horse-shoe magnet*), magnet jarum (*magnetic needles*), *ring magnet*, *disk magnet*, dan lain-lain. [Tutorvista.com, 2014]



Gambar 2.2. Gaya magnet terbesar pada ujung-ujung kutub.

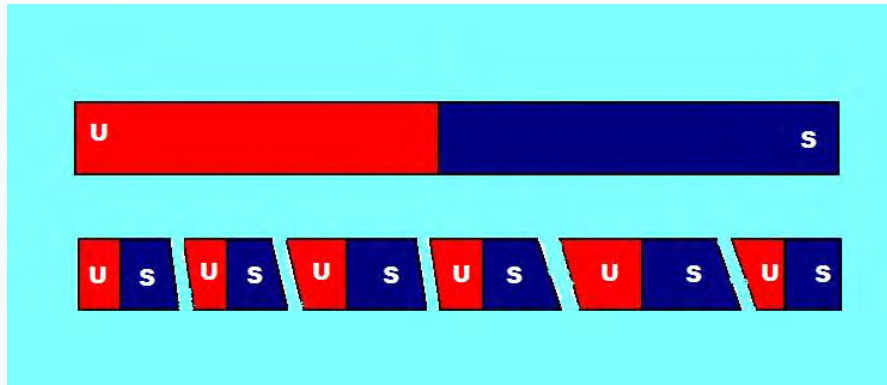
[<http://www.gaussbusters.com/resources/articles/principles-of-magnetism/>]



Gambar 2.3. Bentuk-bentuk magnet.

[<http://www.tutorvista.com/content/physics/physics-i/magnetism/magnet-types.php>]

Bila sebuah magnet dipotong pada bagian tengahnya, maka akan timbul kutub-kutub baru dengan polaritas yang berlawanan dengan dengan kedua ujung potongnya. Jadi jika setiap magnet batang dipotong menjadi dua akan dihasilkan suatu magnet baru yang lebih kecil. Bagian kecil sekalipun yang telah dipotong akan bersifat magnet. Bagian magnet terkecil tersebut yang menyusun sebuah magnet baru disebut magnet elementer. [McIntire, 1989].



Gambar 2.4. Magnet yang dipotong menimbulkan magnet baru.
[www.kanggurufisika.com]

2.2.2 Medan Magnet (*Magnetic Field*)

Medan magnet adalah sebuah gaya yang dihasilkan oleh benda yang mempunyai sifat kemagnetan. Gaya ini dapat diamati dengan meletakkan selembar kertas diatas magnet tersebut dan kemudian dibubuhkan partikel yang bersifat *ferromagnetic*. Maka gaya tersebut akan terlihat seperti pada Gambar 2.2. [Hagamaier, 2002]

Gambar tersebut bisa disebut juga “*magnetograph*” dan garis-garis gaya yang terbentuk disebut *magnetic flux* dimana garis tersebut tidak akan terputus dan tidak bersilangan satu dengan yang lainnya. Dan garis-garis tersebut selalu ditolak oleh kutub utara dan ditarik oleh kutub selatan, dengan kata lain arah *magnetic flux* adalah dari kutub utara ke kutub selatan, serta arus bergerak dari kutub selatan ke kutub utara. [Hellier, 2003]

2.2.3 Kerapatan Flux (*Flux Density*)

Kerapatan *flux* didefinisikan sebagai jumlah garis-garis gaya yang melalui daerah tertentu pada arah tegak lurus terhadap garis-garis gaya. Satuannya adalah Gauss. Satu Gauss adalah satu garis gaya yang melalui suatu daerah seluas satu *centimeter* persegi. Kerapatan

flux mempunyai nilai lebih tinggi ketika mendekati kutub-kutub, dimana garis gaya magnet lebih rapat. [Hagemai, 2002]

2.2.4 Klasifikasi Material *Magnetic*

Ketika material ditempatkan dalam medan magnet, kekuatan magnetik dari material akan terpengaruh. Efek ini dikenal sebagai Hukum Faraday (*Faraday's Law of Magnetic Induction*). Setiap material mempunyai reaksi yang berbeda terhadap medan magnet. Ada tiga hal yang mempengaruhi daya tarik terhadap magnet yaitu, gerak elektron (*the electron motion*), perubahan yang disebabkan oleh adanya medan magnet (*the change in motion caused by an external magnetic field*) dan perputaran elektron tersebut (*the spin of the electrons*). [Nde-ed.org, 2014]

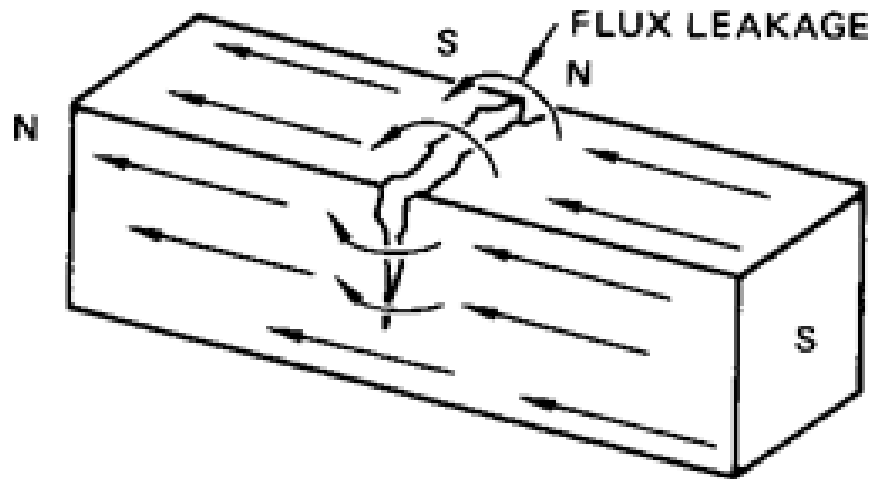
Secara umum material tersebut dapat diklasifikasikan sebagai: [Hellier, 2003; Mcclentire, 1989]

- *Ferromagnetic Materials*, bahan ini memiliki sifat kemagnetan yang cukup kuat dan sangat mudah tertarik oleh magnet. Bahan inilah yang biasa digunakan sebagai magnet permanen maupun listrik. Contohnya termasuk *iron, nickel, cobalt*, dan *gadolinium*.
- *Paramagnetic Materials*, bahan ini memiliki sifat kemagnetan yang lemah dan sangat lemah tertarik oleh magnet. Seperti *stainless steel austenitic, aluminium, copper*, dan *wood*.
- *Diamagnetic Materials*, bahan ini bersifat sulit untuk demagnetisasi dan bisa dikatakan tidak tertarik oleh magnet dan sangat sedikit ditolak oleh magnet. Gaya tolak ini kecil hampir tidak terasa. Contohnya *bismuth, gold, mercury*, dan *zinc*.

2.2.5 Prinsip Pengujian *Magnetic Particle Testing* (MT)

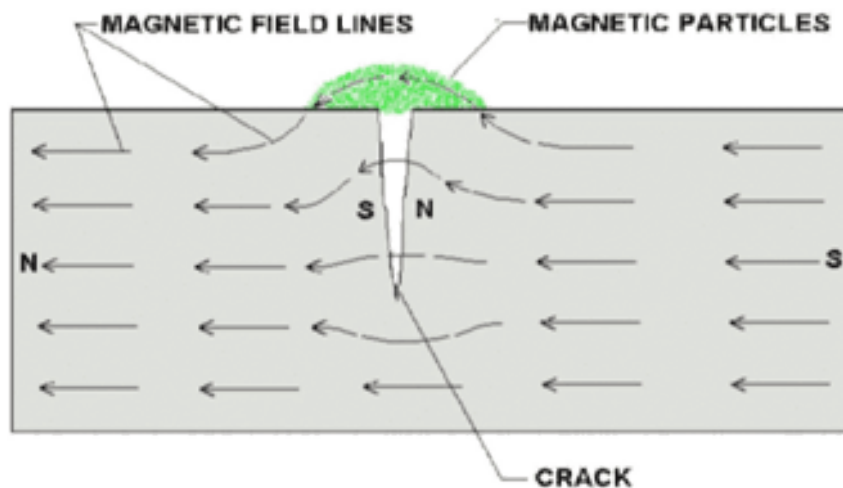
Magnetic Particle Testing adalah sebuah pengujian yang relatif sederhana. Metode pengujian ini didasarkan atas prinsip garis-garis gaya medan magnet (*magnetic flux*). Sebagai contoh sebuah magnet batang memiliki *magnetic flux* dimana tempat masuknya garis magnet tersebut adalah kutub selatan dan tempat keluarnya garis magnet tersebut adalah kutub utara. Dan ketika terjadi dikontinuitas pada magnet batang ini timbul distorsi secara lokal. Akibat penyimpangan ini, sebagian dari medan magnet yang mengalami distorsi lokal akan terjadi kerusakan aliran garis-garis gaya. Fenomena ini disebut "*Magnetic Flux Leakage*" atau kebocoran garis medan magnet. [Mcclentire, 1989; Nde-ed.org, 2014]

Dengan terjadinya *flux leakage* pada material tersebut maka menimbulkan *magnetic field line* baru, bila pada daerah tersebut diberikan partikel-partikel *ferromagnetic* maka partikel tersebut akan tertarik pada *magnetic field line* yang baru.



Gambar 2.5. Distorsi lokal akibat adanya diskontinuitas.

[www.nde-ed.org/EducationResources/CommunityCollege/MagParticle/Introduction/basicprinciples.htm]



Gambar 2.6. Secara sederhana penggambaran pengujian MT.

[www.nde-ed.org/EducationResources/CommunityCollege/MagParticle/Introduction/basicprinciples.htm]

Inti dari metode MT ini adalah dengan magnetisasi komponen yang akan diperiksa. Jika terdapat diskontinuitas pada permukaan, maka diskontinuitas tersebut akan menciptakan “*Flux Leakage*”. Setelah komponen termagnetisasi, diberikan *magnetic particle* baik dalam bentuk *dry* atau *wet suspended* pada permukaan komponen yang telah termagnetisasi. *Magnetic particle* akan tertarik atau terkonsentrasi pada distorsi lokal yang terjadi (*flux leakage field*), sehingga membentuk sebuah indikasi yang terlihat secara visual. [Nde-ed.org, 2014]

2.2.6 Klasifikasi Indikasi

Indikasi yang diperoleh selama pengujian NDT perlu dilakukan interpretasi dan evaluasi. Indikasi bisa juga disebut diskontinuitas. Interpretasi adalah proses untuk menentukan indikasi tersebut apakah tergolong *relevant*, *nonrelevant* atau *false indications*. Dapat dijelaskan sebagai berikut : [Cartz, 1995]

- *Relevant Indication*
Merupakan diskontinuitas yang berhasil tampak. Indikasi dari cacat yang memiliki pengaruh pada kemampuan kerja (*service ability*) dari benda/spesimen uji.
- *Nonrelevant*
Sebuah indikasi yang tidak memiliki hubungan dengan diskontinuitas yang dapat dianggap sebagai cacat pada benda yang diuji. Hal ini bisa terjadi karena geometri material uji, proses pengerjaan material uji, serta perbedaan permeabilitas.
- *False Indications*
Indikasi ini disebabkan karena proses pengujian yang tidak sesuai, prosedur yang salah, terdapat penahan partikel magnet akibat kekasaran permukaan material uji.

2.2.7 Keuntungan Metode MT

Dibawah ini adalah keuntungan dari metode *magnetic particle testing*: [Hellier, 2003].

- Hasil pengujian dapat dilihat secara instan.
- Hasil pengujian dapat disimpan secara permanen, menggunakan *photography*, *magnetic ruber* atau *transparent tape techniques*.
- MT dapat diaplikasikan “*in-situ*” (tidak memerlukan sumber listrik), dengan menggunakan *permanent magnet* atau *battery-powered yokes*.
- Indikasi mudah untuk diinterpretasi.

- Indikasi yang terbentuk mendekati bentuk asli dari diskontinuitas.
- Pelatihan dan pengalaman yang dibutuhkan untuk menjadi tenaga ahli (NDT *personel*) tidak terlalu sulit, karena MT adalah metode yang relatif sederhana.
- Alat MT lebih murah dibandingkan dengan metode NDT lain.
- Pada dasarnya, pengujian dapat dilakukan untuk semua bentuk dan ukuran.
- MT dapat dilakukan selama proses manufaktur.
- Proses persiapan permukaan (*surface preparation*) tidak terlalu penting dibandingkan *penetrant testing*.
- MT dapat digunakan untuk inspeksi *metallic* dan *nonmetallic coating*. Dengan catatan hasil pembacaan terhadap kerusakan akan berkurang dengan bertambahnya ketebalan *coating*.

2.2.8 Keterbatasan Metode MT

Dibawah ini adalah keterbatasan dari metode *magnetic particle testing*: [Hellier, 2003].

- Metode MT terbatas pada material *ferromagnetic*.
- Diskontinuitas yang terdeteksi terbatas pada permukaan atau dekat permukaan material.
- Diperlukan proses demagnetisasi sebelum, selama, dan setelah pengujian.
- Diskontinuitas akan terlihat jika *yoke magnetic line* berpotongan dengan diskontinuitas tersebut. MT harus dilakukan lebih dari satu arah untuk meyakinkan adanya diskontinuitas
- Cat atau lapisan perlu dihilangkan dari bagian yang akan diinspeksi, agar hasil pembacaan lebih akurat dan menghasilkan kontak magnet yang lebih baik.
- Aliran *flux* tidak dapat diprediksi jika pengujian pada material dengan bentuk kompleks.

2.3 *Electromagnetic Testing (ET)*

Electromagnetic testing adalah salah satu metode NDT, dimana dalam proses pengujiannya melibatkan arus listrik dan atau medan magnet dan mengamati respon *electromagnetic* yang terjadi. [Wikipedia, 2013]

Berdasarkan *the ASNT electromagnetics committee* ada empat teknik pengujian menggunakan metode *electromagnetic testing*, karena empat teknik pengujian ini telah tersedia dan banyak digunakan dalam melakukan pemeriksaan atau pengujian NDT, yaitu: [ASNT, *ASNT Level III Study Guide-Electromagnetic Testing*, 2007]

- *Eddy Current Testing (ECT)*
- *Remote Field Testing (RFT)*
- *Alternating Current Field Measurement (ACFM)*
- *Flux Leakage Testing (FLT)*

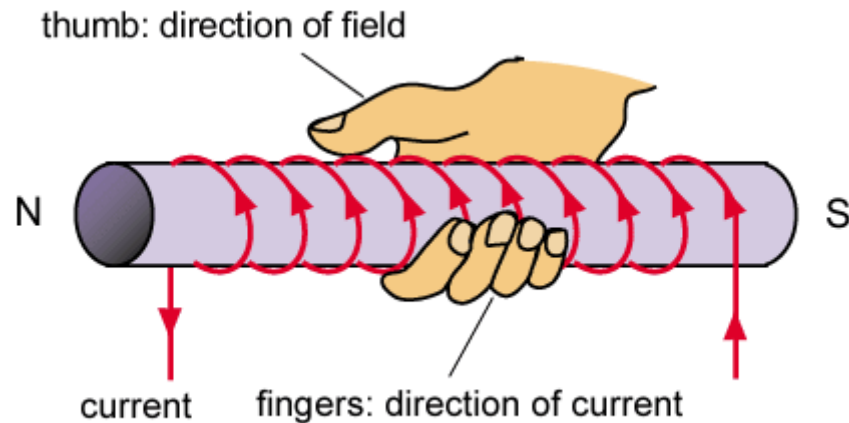
2.3.1 *Eddy Current Testing (ECT)*

Eddy Current Test adalah salah satu metode *nondestructive test* (NDT) yang menggunakan prinsip “*electromagnetism*” sebagai dasar untuk melakukan pemeriksaan. *Eddy current* pada material terjadi melalui proses yang disebut induksi elektomagnetik. Ketika arus bolak balik (AC) diterapkan pada konduktor, seperti kawat tembaga maka akan tercipta medan magnet di dalam dan di sekitar konduktor tersebut, bila didekatkan ke material yang bersifat konduktor terhadap magnet maka akan terjadi induksi medan magnet yang arahnya bellawanan dengan kawat tembaga tersebut. Kata “*eddies*” berarti lingkaran. [Nded.org, 2014]

2.3.1.1 *Electromagnetism*

Electromagnetism adalah suatu keadaan dimana elektron yang mengalir pada suatu konduktor dan menyebabkan medan magnet disekitar konduktor bergerak yang arahnya tegak lurus dengan arah gerak elektron pada konduktor tersebut. [Hellier, 2003]

Hubungan ini dapat dijelaskan dengan “*right-hand rule*” (kaidah tangan kanan), dimana arah ibu jari menunjukkan aliran arus listrik sedangkan keempat jari lainnya merupakan arah garis-garis gaya magnet. Jika referensi yang digunakan berdasarkan aliran elektron, maka untuk referensi aliran elektron dari (+) menuju (-) digunakan kaidah tangan kanan dan sebaliknya jika referensi aliran elektron dari (-) menuju (+) digunakan kaidah tangan kiri. [Smilie, 2000]



Gambar 2.7. Kaidah tangan kanan.

[http://www.geocities.ws/motorac2002/field_dir_poles_e.gif]

2.3.1.2 Faktor Penting Pengujian ECT

- Konduktivitas (*Conductivity*)

Konduktivitas atau daya hantar adalah kemampuan sebuah material dalam menghantarkan arus listrik. Konduktivitas merupakan lawan dari hambatan. Material dengan hambatan tinggi memiliki konduktivitas rendah, dan material dengan hambatan rendah memiliki konduktivitas tinggi. Semakin besar konduktivitas suatu bahan yang diuji dengan ECT, maka semakin besar kepekaan terhadap permukaan diskontinuitas, tetapi berdampak kurangnya penetrasi *eddy current* ke dalam bahan. [Hellier, 2003]

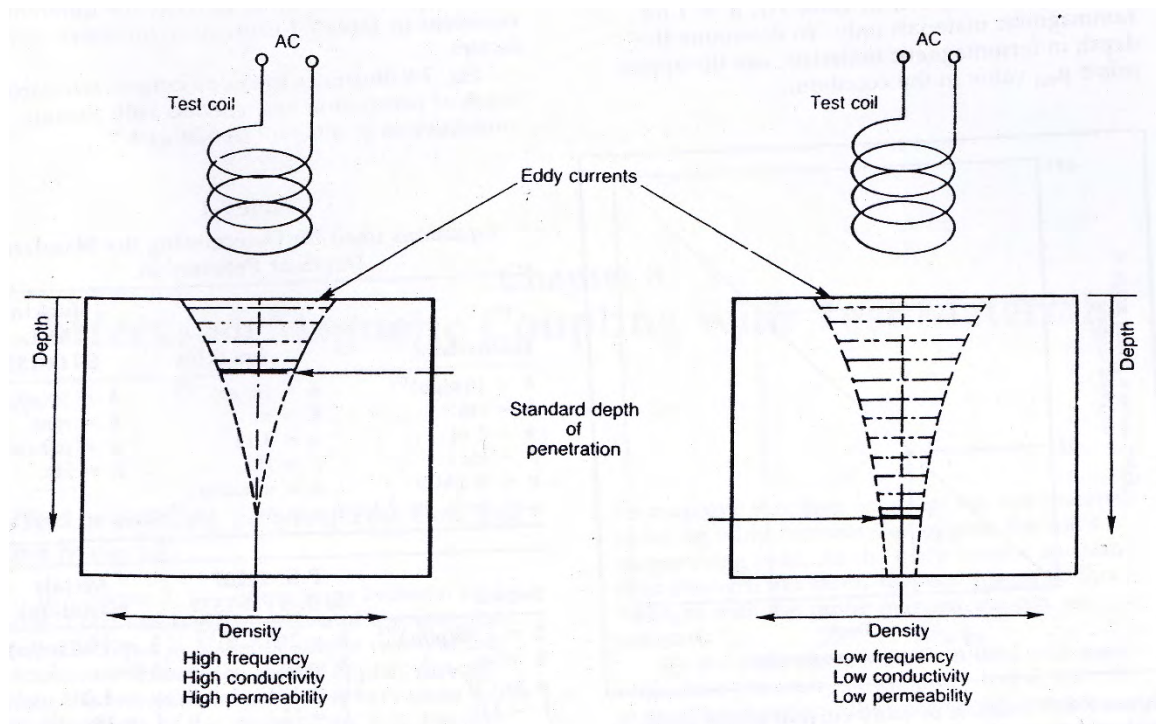
- Permeabilitas (*Permeability*)

Permeability adalah kemampuan dari suatu material untuk memusatkan garis gaya magnet (*magnetic lines*). Faktor ini hanya berpengaruh terhadap material yang bersifat *ferromagnetic*. Efek ini dapat terlihat lebih jelas dengan meningkatnya ketebalan material, dimana permeabilitas dapat mengurangi kemampuan penetrasi *eddy current*. [Hagemaier, 2002; Hellier, 2003]

- Frekuensi (*Frequency*)

Frekuensi dari suatu arus bolak-balik didefinisikan sebagai jumlah siklus dari arus tersebut yang terjadi dalam satu detik. Satuan frekuensi adalah “Hertz”. Saat frekuensi pengujian meningkat, maka tingkat sensitivitas terhadap pembacaan juga meningkat tapi kemampuan penetrasi *eddy current* terhadap material menurun. Jika frekuensi menurun, maka tingkat sensitivitas terhadap pembacaan menurun tapi

kemampuan penembusan *eddy current* meningkat. Frekuensi optimum terbaik ditentukan oleh eksperimen. [Hagamaier, 2002]



Gambar 2.8. Hubungan frekuensi, konduktivitas dan permeabilitas.

[Hagamaier, 2002]

- *Coil Design*

Kemampuan penetrasi dan sensitivitas dipengaruhi oleh bentuk *coil*. Sederhananya bahwa penetrasi *eddy current* terbatas pada ketebalan berbanding lurus dengan diameter *coil* sedangkan sensitivitas yang baik mensyaratkan bahwa diameter *coil* tidak melebihi panjang diskontinuitas yang akan diuji. [Hellier, 2003]

- *Liftoff dan Fill Factor*

Perubahan *test signal (eddy current)* saat *probe* diangkat/dijauhkan dari permukaan material yang diuji disebut *probe liftoff effect*. Sedangkan *fill factor* adalah ukuran seberapa baik penghantar mengisi kumparan (*coils*) atau sebaliknya. [ASNT, *ASNT Level III Study Guide-Electromagnetic Testing*, 2007; Hagamaier, 2002]

- *Skin Effect*

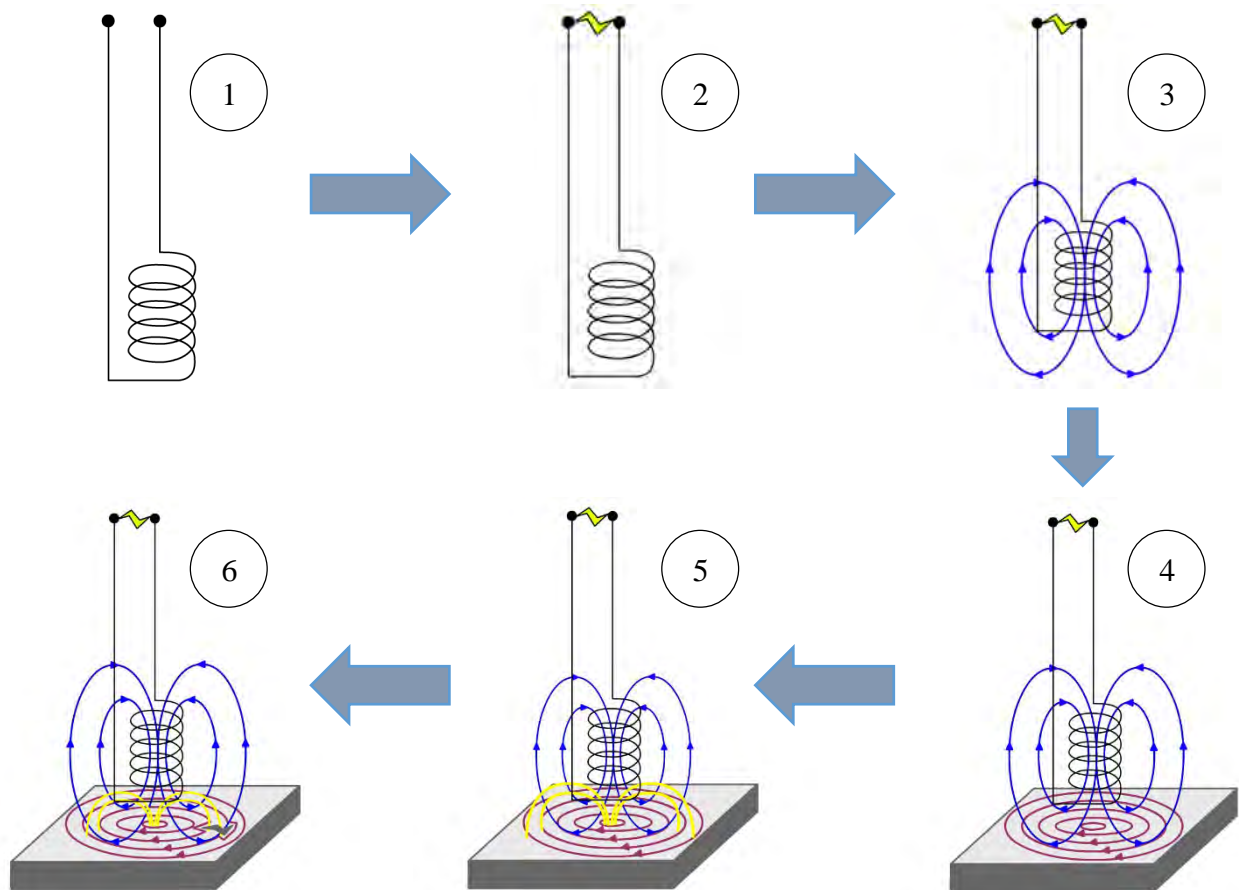
Skin effect adalah hasil interaksi antara *eddy current* (dari *probe*), frekuensi pengujian, konduktivitas dan permeabilitas benda uji. Akibat adanya efek kulit, konsentrasi *eddy current* di dalam benda uji terjadi paling dekat dengan permukaan benda dan menjadi lebih jelas saat frekuensi pengujian, konduktivitas, dan permeabilitas benda uji bertambah besar. [ASNT, *ASNT Level III Study Guide-Electromagnetic Testing*, 2007]

- *Signal-to-noise ratio*

Signal-to-noise ratio adalah perbandingan sinyal pengujian ECT terhadap sinyal yang tidak diinginkan. Sumber-sumber gangguan yang umum adalah variasi pada benda uji seperti kekasaran, bentuk dan ukuran, dan homogenitas. Gangguan kelistrikan lainnya dapat diakibatkan oleh sumber-sumber luar seperti mesin las, motor listrik, dan generator. *Signal-to-noise ratio* dapat diperbaiki melalui beberapa cara yaitu melalui pembersihan benda uji dengan cara *shot blasting*, *acid pickling*, penyikatan atau pengampelasan. Sedangkan gangguan kelistrikan dapat dihalangi atau diisolasi. [ASNT, *ASNT Level III Study Guide-Electromagnetic Testing*, 2007]

2.3.1.3 Prinsip Pengujian *Eddy Current Testing*

Secara singkat, prinsip pengujian dengan metode *eddy current* melibatkan medan magnet yang bervariasi yang dihasilkan oleh kumparan (*coil*) untuk menginduksi material yang akan diuji, dapat digambarkan sebagai: [Hellier, 2003; Nde-ed.org, 2014]



Gambar 2.9. Skema sederhana metode *eddy current test*.

[www.nde-ed.org/EducationResources

/CommunityCollege/EddyCurrents/Introduction/IntroductiontoET.htm]

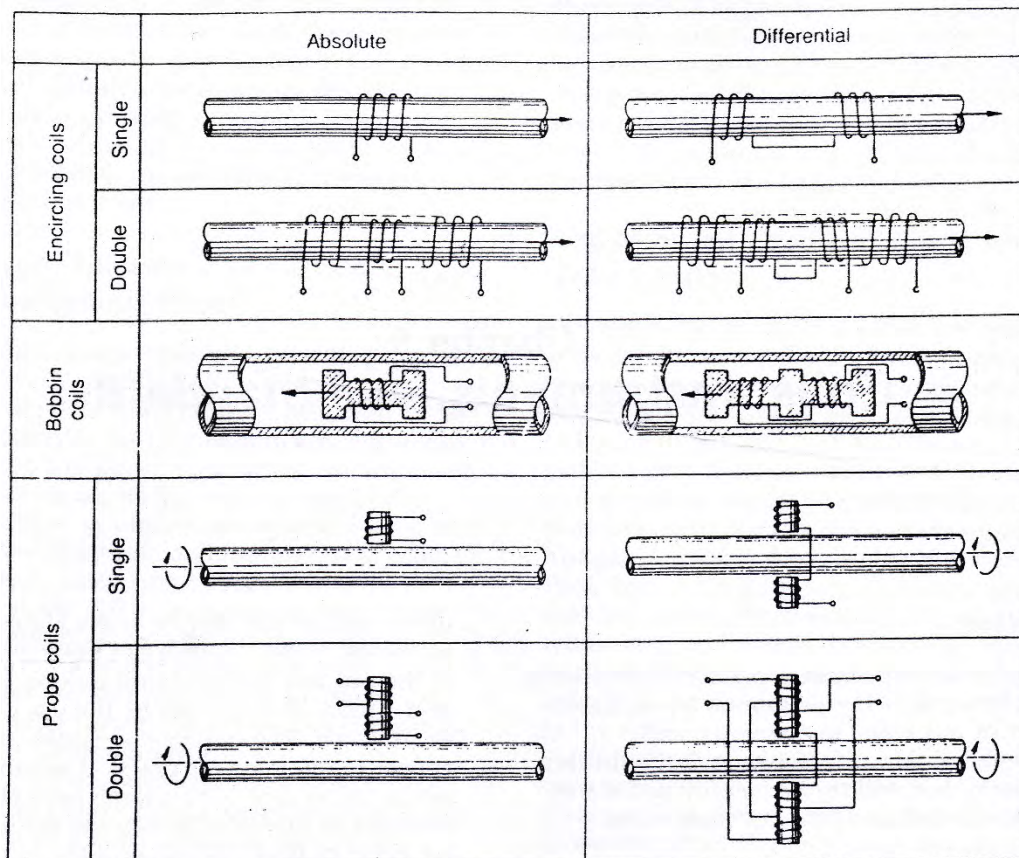
1. Pemeriksaan digunakan *probe*, dimana didalam *probe* tersebut terdapat konduktor listrik yang dibentuk sebagai kumparan.
2. Kemudian dialirkan dengan arus bolak balik (AC) dengan frekuensi tertentu pada *probe* tersebut.
3. Saat arus AC melewati kumparan maka terbentuk *magnetic field* disekitar kumparan (*probe*).
4. Ketika material konduktif diletakkan berdekatan dengan *probe*, maka terjadi induksi arus listrik dan terbentuk *eddy current* pada material tersebut.
5. *Eddy current* yang mengalir pada material akan menghasilkan medan magnet sendiri pada material tersebut, dimana arahnya berlawanan atau berbeda dengan kumparan atau *probe*.
6. Ketika terdapat *defect* pada material tersebut, maka *eddy current* akan terganggu dan hasil pembacaan dapat dilihat secara visual melalui monitor atau instrument lainnya.

2.3.1.4 Test-Coils ECT

Gambar 2.10. Menunjukkan *coils* yang sering digunakan untuk melakukan pengujian ECT, yaitu: [Hagamaier, 2002]

1. *Encircling* atau “*feed-through*” *coils*.
2. *Inside Probe* atau “*bobbin*” *coils*.
3. *Surface Probe Coils*.

Dijelaskan juga untuk tiap tipe *coils* terdapat *absolute measurement* dan *differential probe* perbedaannya terdapat pada jumlah *coils* yang aktif. Pada *absolute* umumnya terdapat *single test coils* yang aktif untuk menghasilkan *eddy current*, sedangkan pada *differential probe* umumnya terdapat dua *coils* yang menghasilkan *eddy current* dan diposisikan berlawanan. Selain itu ada juga *single* dan *double* dimana perbedaannya terdapat pada banyaknya *coils* yang terdapat pada *probe* tersebut. [Hagamaier, 2002; Nde-ed.org, 2014]



Gambar 2.10. *Test-Coils* ECT.

[Hagamaier, 2002]

2.3.1.5 Keuntungan Metode ECT

Dibawah ini adalah keuntungan dari metode *eddy current testing*: [Hellier, 2003].

- Peralatan yang digunakan mudah dibawa, ringan, dan tidak membutuhkan listrik (*battery powered*).
- Metode ini tidak membutuhkan perlakuan khusus, (tidak perlu *couplants*, *powder* atau lainnya). Hanya dibutuhkan *magnetic field* yang menjadi penghubung antara material dan *probe*
- Hasil pembacaan terhadap material biasanya langsung, begitu *probe* mengenai material uji maka akan langsung terlihat pada monitor atau instrument dan dengan tenaga ahli yang memenuhi syarat dapat menginterpretasikan hasil tersebut.
- *Eddy current testing* ideal untuk situasi “go/no-go”.
- Risiko dari pengujian ini sangat kecil.
- Tidak diperlukan proses persiapan material sebelum pengujian (*surface preparation*) dan pembersihan material setelah pengujian.

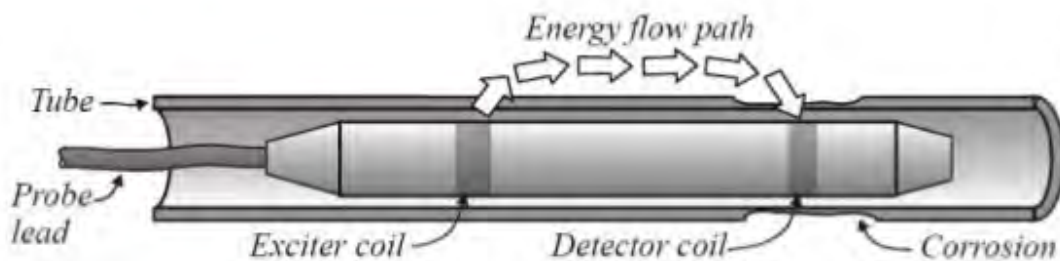
2.3.1.6 Keterbatasan Metode ECT

Dibawah ini adalah keterbatasan dari metode *eddy current testing*: [Hellier, 2003].

- Material uji harus bersifat *electrically conductive*, namun metode ini dapat mengukur ketebalan *nonconductive coatings* pada material uji.
- *Eddy current* yang terbentuk biasanya tidak dapat menembus keseluruhan tebal material *ferromagnetic*. Akibatnya pengujian terbatas pada kerusakan dipermukaan saja, perlu dilakukan perlakuan khusus agar *eddy current* tersebut dapat menembus lebih dalam.
- Membutuhkan tenaga ahli yang terlatih, terutama untuk membaca hasil pengujian pada monitor.

2.3.2 Remote Field Testing (RFT)

Remote field testing sebaiknya tidak dianggap sebagai bagian dari pengujian *eddy current*. Baik *American Society for Testing and Materials* (ASTM) dan *American Society of Mechanical Engineers* (ASME) mengkategorikan *remote field testing* sebagai teknik khusus dalam *electromagnetic testing*. [ASNT, *ASNT Level III Study Guide-Electromagnetic Testing*, 2007]. RFT lebih banyak digunakan untuk memeriksa *ferromagnetic tubing*, jika digunakan *eddy current* konvensional (ECT) maka akan mengalami sedikit kesulitan dalam memeriksa dinding tabung dikarenakan *skin effect* yang kuat pada bahan *ferromagnetic*. [Nde-ed.org, 2014].



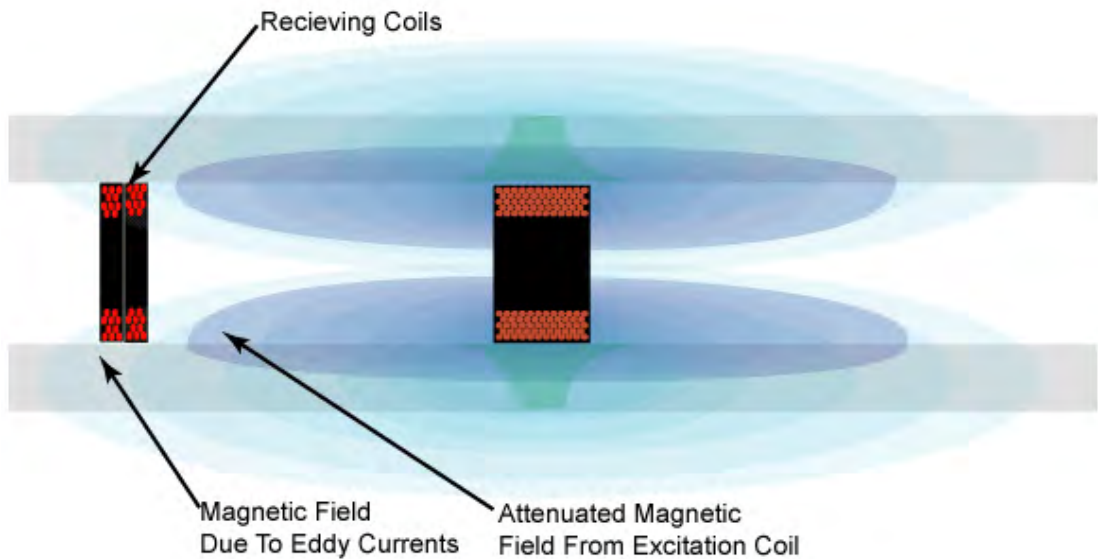
Gambar 2.11. Skema RFT probe.

[<http://image.slidesharecdn.com/electromagnetic-testing-emtchapter8-130130180529-conversion-gate02/95/electromagnetic-testing-emt-chapter-8-24-638.jpg?cb=1422641738>]

2.3.2.1 Prinsip Pengujian Remote Field Testing [Nde-ed.org, 2014]

Sebuah *probe* yang terdiri dari *exciter coil* dan satu atau lebih *detector coil* ditarik melewati *tube*. *Exciter coil* dan *detector coil* tetap pada jarak diantara tabung, kemudian *exciter coil* dengan menggunakan frekuensi sinusoidal yang relatif rendah menghasilkan medan magnet dan diterima oleh *detector coil* (Gambar 2.11).

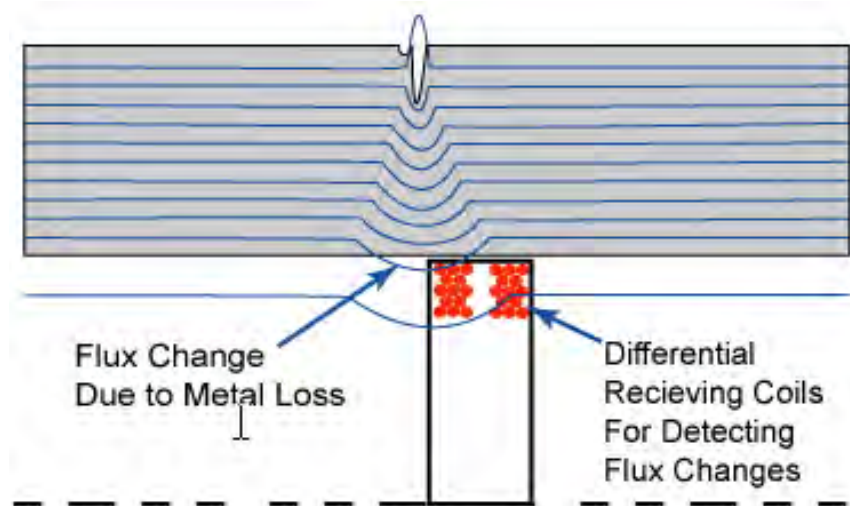
Detector coil atau *receiving coil* diposisikan pada jarak dimana medan magnet dari *eddy current* dominan. Dengan kata lain, mereka ditempatkan pada jarak dimana *detector coil* tidak terpengaruh medan magnet yang dihasilkan *exciter coil* (Gambar 2.12) tetapi cukup untuk mengukur medan magnet yang dihasilkan magnet sekunder (hasil perambatan dari material uji).



Gambar 2.12. Posisi receiving coil/detector coil.

[<https://www.nde-ed.org/EducationResources/CommunityCollege/Other%20Methods/RFT/Graphics/RFT5.jpg>]

Induksi elektromagnetik terjadi ketika terdapat perubahan medan magnet yang diterima oleh *receiving coil/detector coil*. Dengan melihat perubahan konsistensi induksi tersebut pada spesimen uji maka akan terlihat jika terdapat indikasi kerusakan pada material tersebut, walaupun kekuatan medan magnet yang dihasilkan oleh *exciter coil* cukup lemah tapi sangat sensitif terhadap perubahan *inner diameter (I.D)* dan *outter diameter (O.D)* dalam *tube/pipa* yang diuji.



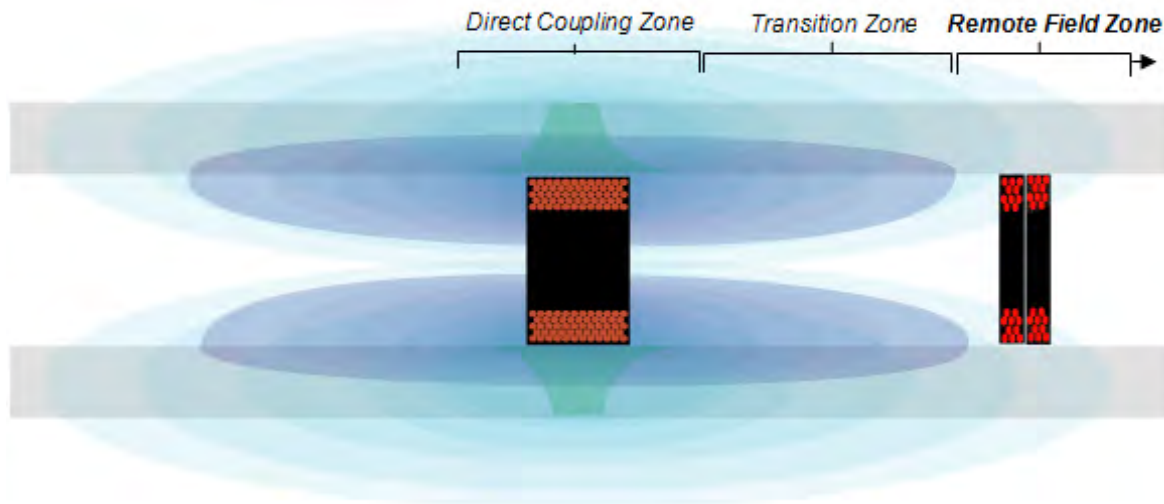
Gambar 2.13. Perubahan medan magnet karena adanya indikasi.

[<https://www.nde-ed.org/EducationResources/CommunityCollege/Other%20Methods/RFT/Graphics/RFT6.jpg>]

2.3.2.2 Daerah/Zona Pada RFT

Guna mendefinisikan variasi-variasi di dalam distribusi arus bolak-balik yang ada di dalam dinding tube, telah dikembangkan istilah-istilah berikut ini. [ASNT, *ASNT Level III Study Guide-Electromagnetic Testing*, 2007; Nde-ed.org, 2014]

- *Near Field Zone (Direct Coupled)* – (0 - 1.5 kali diameter tube dari *exciter coil*)
Pada zona ini medan magnet dari *exciter coil* berinteraksi dengan dinding *tube* untuk menghasilkan *eddy current* yang terkonsentrasi, karena itu zona ini bisa disebut juga *direct coupled zone*. Zona ini tidak memberikan kontribusi data yang berguna untuk pemeriksaan RFT karena masalah dengan tingginya tingkat kebisingan yang dihasilkan *exciter coil*.
- *Transition Zone* – (1.5 – 2 kali diameter tube dari *exciter coil*).
Zona ini tepat di luar *near field zone* dinamakan zona transisi (*transition zone*). Pada zona ini dianggap tidak menghasilkan data yang andal karena lokasi zona transisi berubah-ubah seiring dengan perubahan ketebalan dinding, permeabilitas, dan konduktivitas. Di dalam zona ini, terjadi interaksi yang tinggi antara medan magnet yang keluar dari *exciter coil* dan medan magnet yang masuk kembali ke dalam tube dari permukaan luar (*detector coil*).
- *Remote Field Zone* – (2 – 3 kali diameter tube dari *exciter coil*).
Dengan mempertimbangkan laju pelemahan kekuatan medan magnet pada dinding dalam, hasilnya adalah pada daerah dimana *remote field zone* mulai terjadi, kekuatan medan magnet pada dinding luar dapat mencapai 10 hingga 100 kali kekuatan medan magnet dinding dalam. Zona ketiga ini mulai terjadi pada jarak kurang lebih dua kali diameter tube dari *exciter coil*.



Gambar 2.14. Zona pada RFT.

[<https://www.nde-ed.org/EducationResources/CommunityCollege/Other%20Methods/RFT/Graphics/RFT7.jpg>]

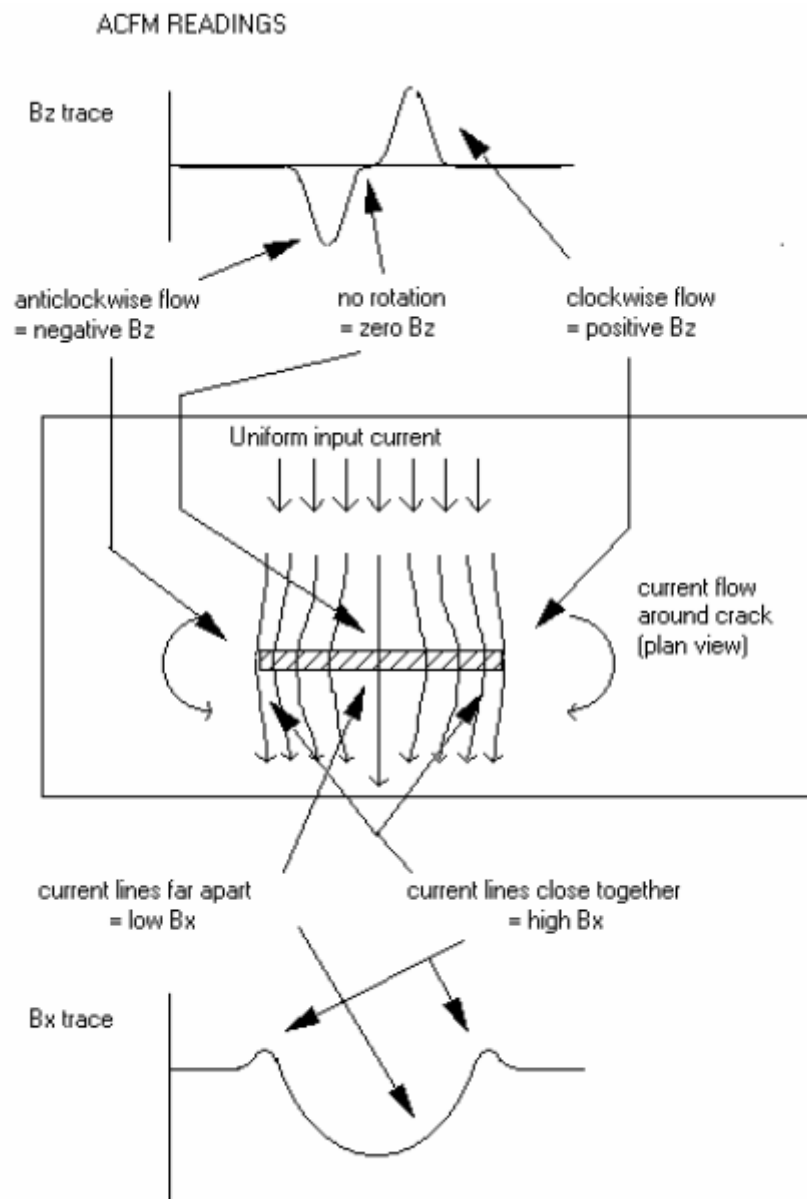
2.3.3 Alternating Current Field Measurement (ACFM)

ACFM adalah teknik pemeriksaan elektromagnetik yang dapat digunakan untuk mendeteksi dan memperkirakan ukuran indikasi permukaan atau dalam beberapa kasus dekat permukaan bahan *magnetic* dan *non-magnetic*. [Ndt.net, 2000]

Ketuntunan utama metode ini dibandingkan *magnetic particle testing* dan *penetrant testing*, yaitu: [ASNT, *ASNT Level III Study Guide-Electromagnetic Testing*, 2007]

- Dapat menembus lapisan *nonconductive coating* (sampai ketebalan 10 mm) sehingga tidak perlu menghilangkan dan mengecat kembali, atau membersihkan lapisan karat.
- Memberikan informasi mengenai kedalaman dan panjang, menghemat waktu dalam penghilangan diskontinuitas pada kedalaman tertentu.
- Relatif tidak sensitif terhadap perubahan sifat material, sehingga ideal untuk memeriksa las-lasan.
- Relatif tidak sensitif terhadap *probe lift-off*, sehingga dapat dipakai memeriksa melalui lapisan (*nonconductive coating*) dan permukaan kasar.
- Dapat mengukur kedalaman diskontinuitas sampai dengan 25 mm, tergantung pada jenis *probe*.

2.3.3.1 Prinsip pengujian ACFM



Gambar 2.15. Pengujian ACFM.

[Topp, 2002]

Gambar 2.15. Menunjukkan secara skematis bagaimana medan listrik terganggu dipermukaan akibat adanya indikasi. Dalam prakteknya, terdapat dua komponen/sensor dari medan magnet yang diukur, Bx merespon terhadap kerapatan arus dan menunjukkan kedalaman diskontinuitas, sedangkan Bz merespon terhadap ujung dari diskontinuitas dan menunjukkan palung/puncak saat *probe* melewati diskontinuitas tersebut, dan menunjukkan panjang diskontinuitas. [Ndt.net, 2000; Topp, 2002]

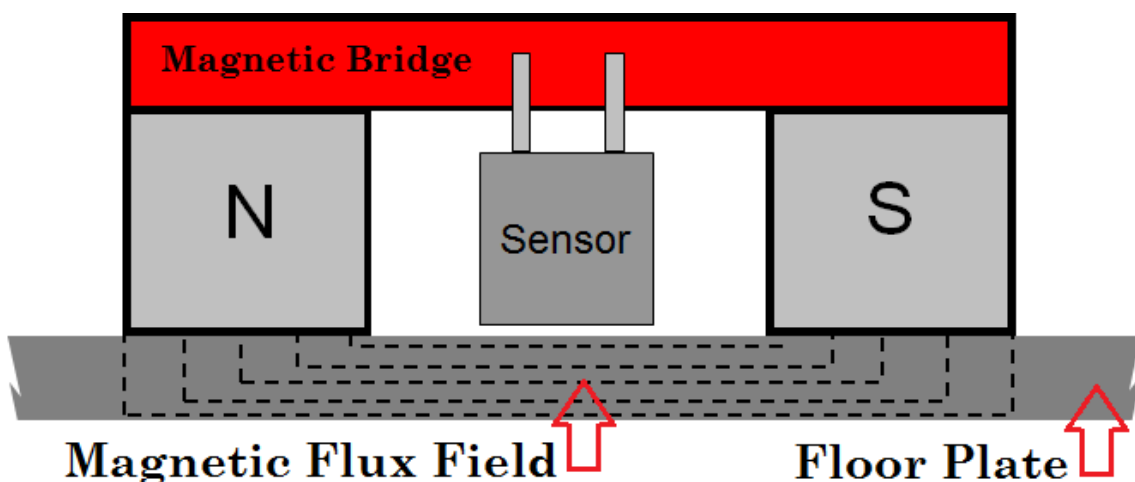
2.3.4 Flux Leakage Testing (FLT)

Flux Leakage Testing adalah pengujian NDT untuk mendeteksi korosi sumuran dan retakan dalam suatu struktur. FLT sering digunakan untuk menilai integritas jaringan pipa dan tangki penyimpanan, tetapi dalam penggunaannya dapat diaplikasikan pada sektor industri lain. [Rosen, 2015]

Penggunaannya melibatkan pergerakan medan magnet DC ke dalam benda uji yang bersifat *ferromagnetic*. Adanya diskontinuitas lokal (biasanya yang membuka ke permukaan) yang terletak di dalam daerah pemeriksaan akan mengakibatkan medan magnet berbelok arah atau bocor dan keluar dari permukaan benda uji. Garis-garis medan magnet ini memotong kumparan yang bergerak, atau sensor magnetik lainnya, dan digunakan untuk mendeteksi kebocoran medan magnet arus searah. Selain itu kecepatan penarikan *probe* pengujian *flux leakage testing* harus dijaga pada laju yang konstan atau jika tidak, kekurangan pengujian akan berkurang. [ASNT, *ASNT Level III Study Guide-Electromagnetic Testing*, 2007]

2.3.4.1 Prinsip pengujian FLT

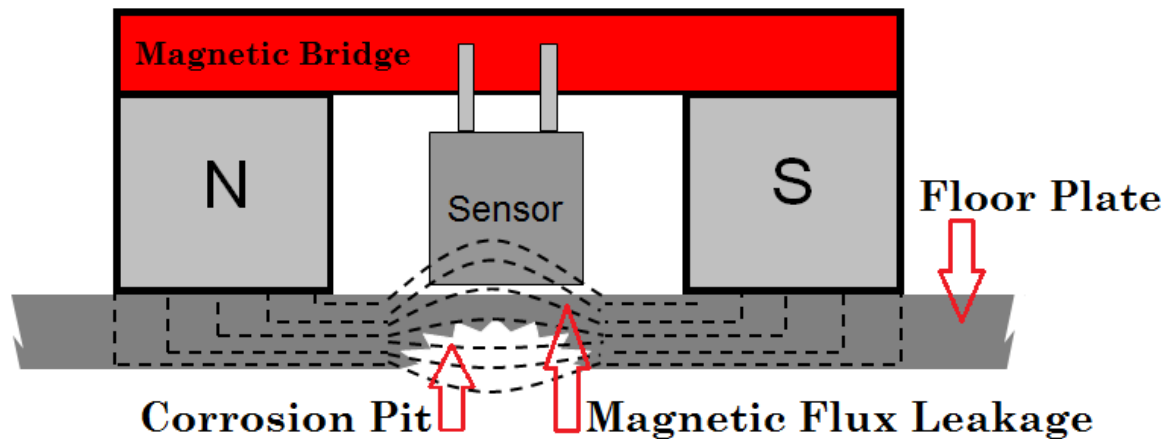
Prinsip dasar dari pengujian FLT ini adalah dengan melibatkan proses *magnetizing* pada benda logam dengan tingkat kejenuhan magnet yang kuat. Bila pada material uji tidak ditemukan adanya indikasi maka *magnetic flux* yang dihasilkan akan tetap tidak terganggu (Gambar 2.16) [Rosen, 2015]



Gambar 2.16. Proses FLT pada material yang baik.

[<http://www.mfeenterprises.com/wp-content/uploads/2013/08/What-is-MFL-magnetic-bridge.png>]

Bila pada material uji terdapat indikasi dari internal atau eksternal seperti penipisan material, *crack*, korosi, dll. Maka akan terjadi kebocoran *magnetic flux field* pada material tersebut (Gambar 2.17). Dalam pengujian FLT, terdapat sensor *magnetic* yang ditempatkan diantara kedua kutub untuk merekam atau menangkap jika terdapat kebocoran *magnetic flux field* pada material tersebut. [Rosen, 2015]



Gambar 2.17. Proses FLT pada material yang terdapat indikasi.

[<http://www.mfeenterprises.com/wp-content/uploads/2013/08/What-is-MFL-magnetic-bridge-corrosion-pit.png>]

2.4 Aplikasi Penggunaan NDT (MT dan ECT) Pada Bidang Perkapalan

2.4.1 *Magnetic Particle Testing* (MT)

Digunakan untuk pendeteksian diskontinuitas permukaan pada sambungan las, *crane*, dan semua material yang bersifat *ferromagnetic* pada kapal.

2.4.2 *Eddy Current Testing* (ECT)

Digunakan untuk pendeteksian diskontinuitas permukaan pada material yang dilapisi *nonconductive coating* (*crane*, plat, pipa, dll), selain itu ECT dapat digunakan *heat exchanger tubing*. ECT dapat dilakukan pada bahan *non-ferromagnetic*, termasuk *stainless steel*, *admiralty brass*, *copper-nickel alloys*, *titanium*, *hastelloy*, dll.

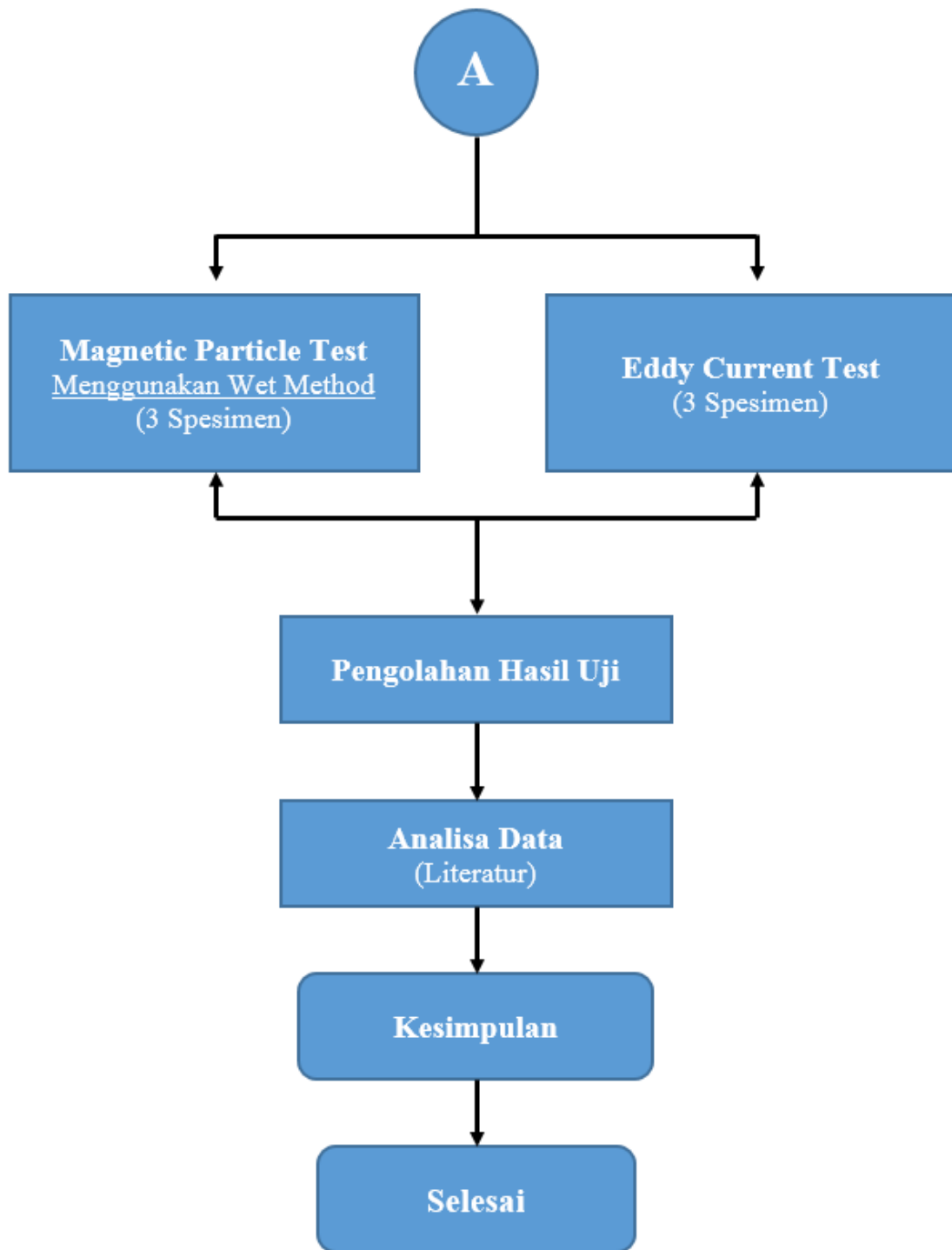
BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir

Diagram alir dari penelitian ini dapat dilihat:





Gambar 3.1. Diagram alir penelitian.

3.2 Bahan Penelitian

3.2.1 Material

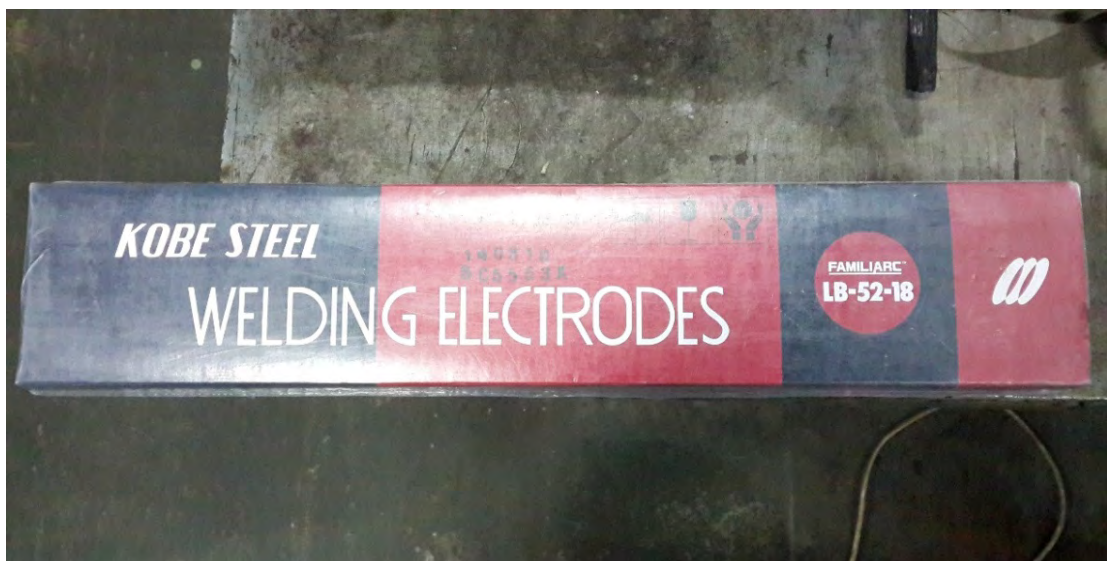
Material yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah material baja karbon rendah A36 dengan ukuran 300 x 130 x 6 mm sebanyak 6 buah.



Gambar 3.2. Material pengujian.

3.2.1 Kawat Las

Pada material uji diberikan pengelasan di permukaan menggunakan proses pengelasan SMAW dan kawat las yang digunakan adalah E 7018 dengan diameter 3.2 mm.



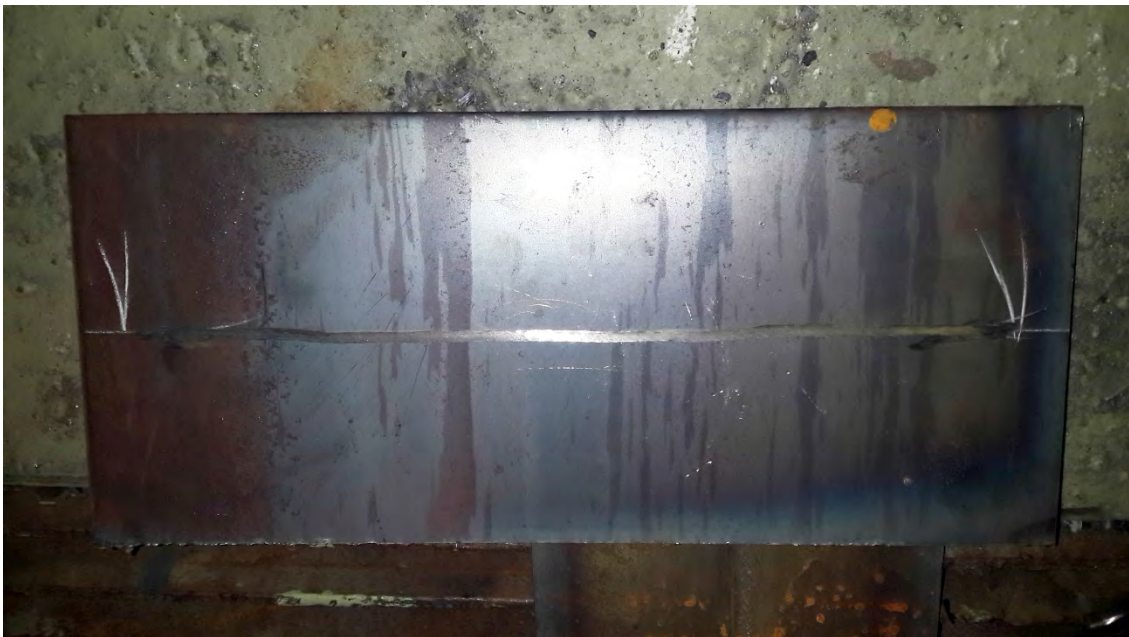
Gambar 3.3. Kawat las.

3.3 Pembuatan Spesimen Uji

3.3.1 Proses Pengelasan Permukaan Material

Sebelum dilakukan pengelasan terlebih dahulu dibuat alur (*guide line*) di permukaan material dengan cara digerinda (Gambar 3.4), yang bertujuan agar hasil pengelasan lurus. Adapun batasan-batasan selama proses pengelasan:

- *Welding Process* : SMAW
- *Welding Machine* : ESAB LHE 300
- *Ampere Range* : 100 – 120 A
- *Filler Metal* : E 7018 Ø 3.2mm
- *Panjang Pengelasan* : 280 mm
- *Lebar Weld Metal* : 4 – 5 kali diameter kawat las
- *Tinggi Reinforcement* : Max. 3 mm



Gambar 3.4. Alur las.



Gambar 3.5. *Ampere range.*



Gambar 3.6. Proses pengelasan permukaan.

Gerinda digunakan untuk menghilangkan menghilangkan *spatter* serta menghaluskan tepi dari material uji (Gambar 3.7). Mesin gerinda yang digunakan pada pengujian adalah merek Makita. Selain itu sebagai akhir dari pembersihan permukaan spesimen uji digunakan *wire brush*

Setelah material dihaluskan dengan mesin gerinda, sisi yang tajam telah dihilangkan dan permukaan material telah dibersihkan dengan wire brush. Maka akan mempermudah dalam pembuatan *crack* dengan menggunakan EDM (Gambar 3.8).



Gambar 3.7. Pembersihan *spatter*.



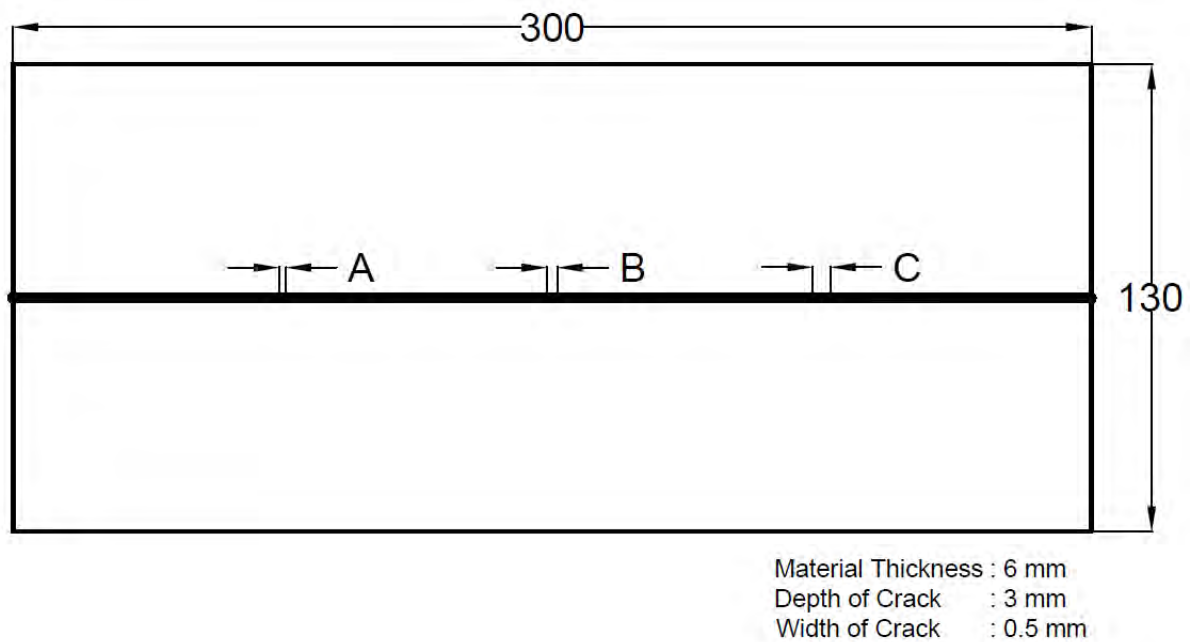
Gambar 3.8. Permukaan spesimen uji sudah dihaluskan dan dibersihkan.

3.3.2 Proses Pembuatan *Crack* Pada *Weld Metal* Spesimen Uji

Material uji yang sudah dipotong dan telah dilakukan proses pembersihan serta penghalusan dari sisi tajam selanjutnya dilakukan proses pembuatan *crack* pada *weld metal* dengan alat yang disebut *Electrical Discharge Machining* (EDM). EDM adalah sebuah proses manufaktur dimana bentuk yang diinginkan didapat dengan menggunakan *electrical discharges* (*sparks*). Dimana posisi *crack* buatan diatur sedemikian rupa agar memudahkan dalam proses pemeriksaan serta perbandingan pembacaan *crack*. Gambar 3.10 menunjukkan perkiraan letak *crack* buatan pada spesimen uji, dan Tabel 3.1 menunjukkan ukuran *crack* buatan pada spesimen uji.



Gambar 3.9. Electrical Discharge Machining.



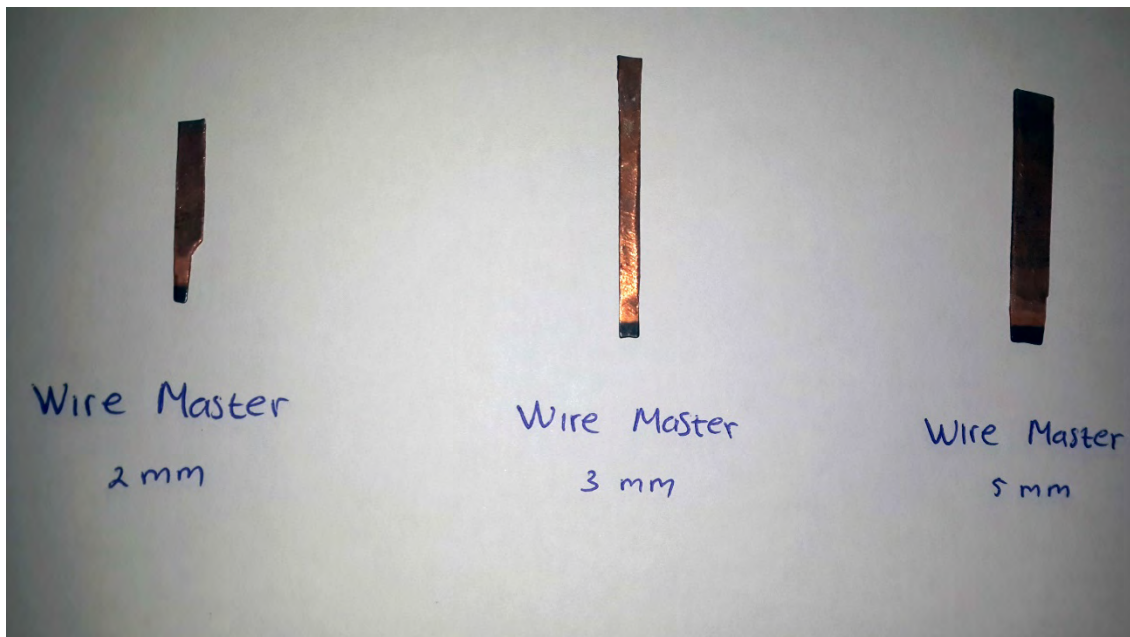
Gambar 3.10. Perkiraan letak *crack* pada spesimen uji.

Tabel 3.1. Ukuran *crack* buatan.

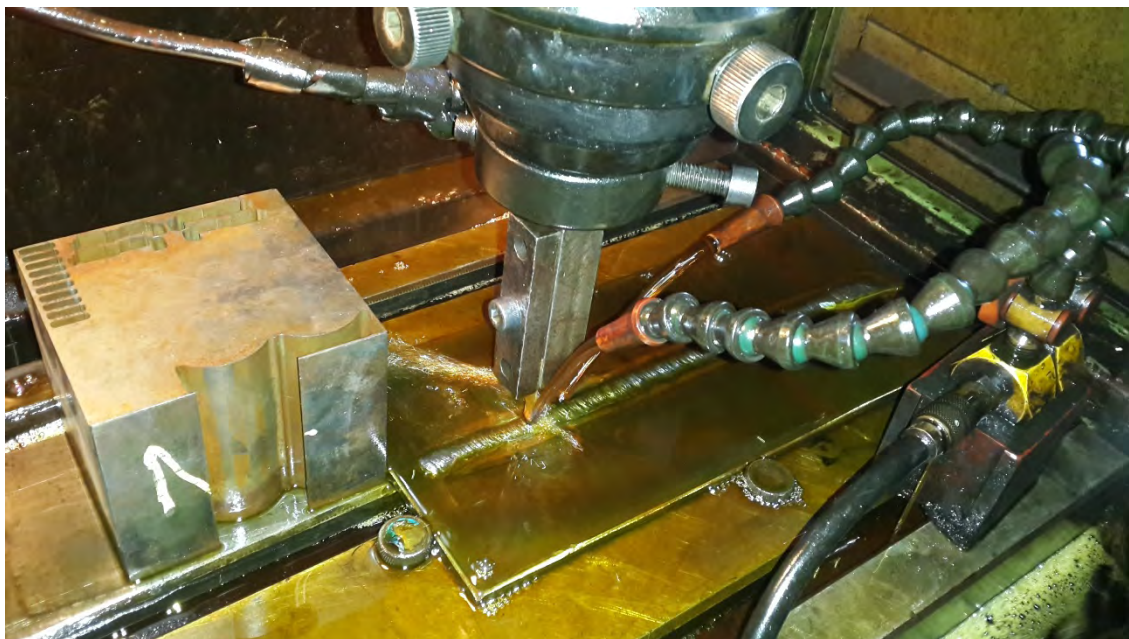
No	Test Sample ID	Letak Crack			Panjang Crack (mm)			Kedalaman (mm)	Lebar (mm)
					A	B	C		
1	XX – 01	A	B	C	3	2	5	3	0.5
2	XX – 02	A	B	C	2	3	5	3	0.5
3	XX – 03	A	B	C	2	5	3	3	0.5

Catatan: XX = Kode Material Sesuai Pengujian

Kelebihan menggunakan alat EDM dimana letak *crack* yang telah direncanakan dapat dengan mudah dilakukan pengaturan baik dari segi ukuran panjang *crack* maupun kedalaman *crack*. Sebelum melakukan pembuatan *crack* dengan EDM, diperlukan suatu mata penggores atau sering disebut dengan *wire master* EDM. *Wire master*/mata yang digunakan untuk menggores spesimen uji harus terlebih dahulu dibuat sesuaikan dengan ukuran *crack* yang direncanakan.



Gambar 3.11. *Wire master* untuk EDM.



Gambar 3.12. Proses pembuatan *crack* dengan EDM.

3.4 Pengujian *Magnetic Particle Testing* (MT)

3.4.1 Persiapan Pengujian *Magnetic Particle Testing*



Gambar 3.13. Peralatan pengujian *magnetic particle testing*.

Berikut peralatan yang digunakan pada pengujian ini:

- Light meter
- Jangka Sorong
- Penggaris
- Pie-Shape
- Stopwatch
- Gaussmeter
- Magnet Yoke

Pada penelitian ini akan menggunakan AC Yoke, berikut identifikasi dari yoke yang digunakan:

- ❖ *Yoke Manufacture/Brand* : PICO-MAG
- ❖ *Yoke Type* : MY-2
- ❖ *Yoke's Serial No.* : NW7420
- ❖ *Yoke's Current* : 220 Volt AC; 60 HZ
- ❖ *Yoke's Ampere* : 2.4 A



Gambar 3.14. AC yoke.

- Wet Method Particles

Partikel yang digunakan adalah larutan basah/larutan suspensi. Larutan suspensi ini merupakan campuran dari *mineral oil*, *isobutene*, *iron oxide* dan *magnetic powder*. Selain itu pada pengujian ini digunakan juga *White Contrast Paint* (WCP). WCP digunakan agar terlihat perbedaan warna antara permukaan material yang diuji dengan larutan suspensi yang digunakan, dengan tujuan hasil identifikasi lebih maksimal. Proses pembersihan WCP ini juga cukup sulit. WCP paling efektif jika dibersihkan dengan *wire brush* sedangkan jika menggunakan cara lain WCP cukup sulit dihilangkan secara sempurna. Berikut larutan suspensi yang digunakan dan WCP:

1. Larutan Suspensi/*Visible Wet Particle*

- ❖ *Particle Manufacture/Brand* : Magnaflux
- ❖ *Type of Particle* : 7HF
- ❖ *Serial Number/Batch* : 120411

2. *White Contrast Paint*

- ❖ *WCP Manufacture/Brand* : Magnaflux
- ❖ *Type of Particle* : WCP-2
- ❖ *Serial Number/Batch* : 110801



Gambar 3.15. White contrast paint (kiri) dan visible wet particle (kanan).

3.4.2 Prosedur Pengujian *Magnetic Particle Testing*

Apabila tahapan-tahapan mulai dari persiapan material, serta semua peralatan pengujian telah selesai dilaksanakan. Maka langkah selanjutnya adalah melakukan pengujian *magnetic particle testing* dengan menggunakan metode basah (*visible wet method*) dan AC *yoke*. Berikut adalah uraian tahapan pengujian *magnetic particle testing*:

1. Dilakukan penataan meja kerja dan pengukuran intensitas cahaya. Untuk tahapan ini digunakan *light meter* dengan intensitas minimum 1000 lux. (Gambar 3.16).
2. Material diperiksa dan dibersihkan dengan lap. Pada tahapan ini digunakan *cleaner/removal* merek Magnaflux SKC-S dengan *batch number* 100480.
3. *Pie-Shape* diletakkan pada permukaan material dan diaplikasikan WCP. Selanjutnya peralatan *yoke* ditempelkan pada permukaan material dengan posisi kaki *yoke* menyilang tegak lurus terhadap arah cacat pada material.

4. *Yoke* dinyalakan kemudian disemprotkan partikel basah pada material uji dan *pie-shape*. *Pie-shape* digeser mendekat/menjauhi *yoke* dengan tujuan mendapatkan jarak optimum agar terjadi *overlap* medan magnet (Gambar 3.17).
5. Pengujian dilakukan secara *countinuous* yaitu dengan menyemprotkan partikel basah pada material uji sesuai jarak *overlap*, kemudian diratakan dengan cara ditiup pelan dan diamati pada permukaan adanya indikasi diskontinuitas pada material tersebut (Gambar 3.18)
6. Dilakukan interpretasi hasil pengujian dengan cara digambar letak dan ukuran diskontinuitas yang terdapat pada material tersebut (Gambar 3.19)
7. Dilakukan pengambilan gambar dengan menggunakan kamera digital pada material yang menunjukkan adanya indikasi diskontinuitas.
8. Selanjutnya dilakukan proses pembersihan material dengan bantuan *wire brush* dan *cleaner/removal* (Gambar 3.20)
9. Setelah material bersih dari WCP dan partikel basah maka dilakukan proses demagnetisasi. Dimana demagnetisasi bisa dilakukan menggunakan *yoke* dengan cara membalikkan arah medan magnet sambil menjauhkan *yoke* dari permukaan material yang diuji. Besarnya medan magnet yang tersisa harus diverifikasi dengan Gaussmeter. Dan besarnya medan magnet diseluruh bagian material harus lebih kecil dari 3 (tiga) Gauss (Gambar 3.21)
10. Dicatat waktu yang dibutuhkan untuk melakukan pengujian tersebut. Waktu dimulai dari tahap 2 sampai dengan tahap 9.
11. Ulangi tahap 2 sampai dengan 10 pada material berikutnya. Pada penelitian ini pengujian dilakukan 2 (dua) kali untuk setiap spesimen uji (MT-01, MT-02, dan MT-03) dengan total 6 (enam) pengujian.
12. Setelah semua indikasi diskontinuitas dan waktu dicatat serta didokumentasikan maka pengujian/pemeriksaan dengan metode MT selesai.
13. Langkah selanjutnya adalah menganalisis data yang didapatkan dari hasil pengujian MT.



Gambar 3.16. Intensitas cahaya saat pengujian.



Gambar 3.17. Jarak *overlap*.



Gambar 3.18. Proses MT dengan teknik *countinous*.



Gambar 3.19. Interpretasi hasil pengujian.



Gambar 3.20. Proses pembersihan material.



Gambar 3.21. Verifikasi medan magnet dengan gaussmeter.

3.5 Pengujian *Eddy Current Testing* (ECT)

3.5.1 Persiapan Pengujian *Eddy Current Testing*



Gambar 3.22. Peralatan pengujian *eddy current testing*.

Berikut peralatan yang digunakan pada pengujian ini:

- Blok Kalibrasi
- *Stopwatch*
- *Eddy Current Equipments*

Eddy current equipments yang digunakan pada penelitian ini terbagi menjadi dua:

1. *Eddy Current Probe*

Berikut identifikasi dari *probe* yang digunakan:

- | | |
|----------------------------------|---------------------------------|
| ❖ <i>Probe Manufacture/Brand</i> | : Ether NDE |
| ❖ <i>Probe Type</i> | : <i>Right Angle Probe</i> |
| ❖ <i>Probe Coils</i> | : <i>Normal Single/Absolute</i> |
| ❖ <i>Probe Serial No.</i> | : 01303/02 |
| ❖ <i>Probe Frequency</i> | : 500 KHz |



Gambar 3.23. Right angle probe.

2. Eddy Current Testing Machine

Berikut identifikasi *eddy current testing machine* yang digunakan:

- ❖ *Manufacture/Brand* : GE Measurement & Control
- ❖ *Type* : Phasec 3d
- ❖ *Serial Number* : EC01571/07

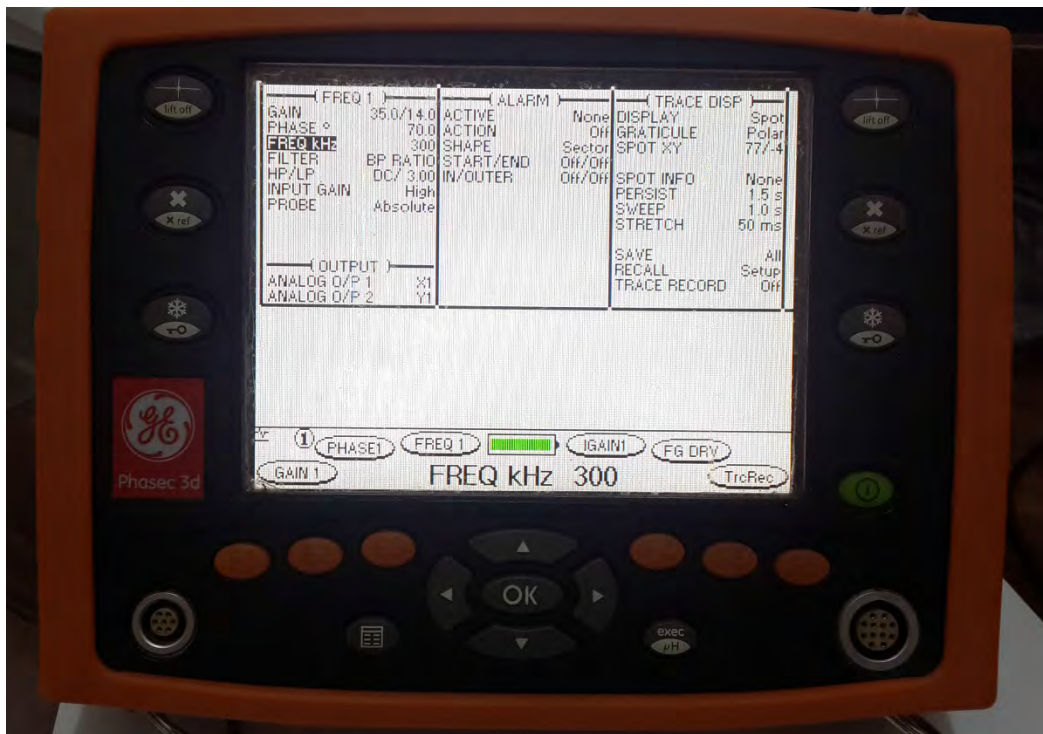


Gambar 3.24. Eddy current testing machine.

3.5.2 Prosedur Pengujian *Eddy Current Testing*

Apabila tahapan-tahapan mulai dari persiapan material, serta semua peralatan pengujian telah selesai dilaksanakan. Maka langkah selanjutnya adalah melakukan pengujian *eddy current testing*. Berikut adalah uraian tahapan pengujian *eddy current testing*:

1. Dilakukan penataan/persiapan meja kerja. Pada tahapan ini material dan blok kalibrasi disiapkan.
2. Melakukan kalibrasi dengan blok kalibrasi dan pengaturan instrument ECT. Pada tahapan ini yang perlu diperhatikan dalam pengaturan instrument yaitu, *frequency*, *filter*, *phase angle*, dan *gain*. Dimana hal tersebut harus diperhatikan agar terjadi perbedaan antara *liftoff* dan indikasi (disarankan perbedaan *liftoff* dan indikasi $\pm 90^\circ$). Gambar 3.25. Menunjukkan *setting* alat yang digunakan pada pengujian ini.
3. Dilakukan pengujian terhadap spesimen uji. Pengujian terhadap spesimen ini dilakukan pada *area weld metal*.
4. Sebelum suatu pengujian ECT dilakukan selalu ada yang disebut “*Balancing*” yaitu, proses penyamaan impedansi (*impedance*) antara *probe* dan impedansi internal dari alat ECT.
5. Selanjutnya bersamaan dengan dijalankan *probe* pada permukaan spesimen uji dilihat *signal* yang dihasilkan pada monitor instrumen dan bila terdapat indikasi maka diberikan tanda. (Gambar 3.26)
6. Dicatat waktu yang dibutuhkan untuk melakukan pengujian tersebut. Pada penelitian ini waktu dimulai saat akan dilakukan pengujian terhadap spesimen uji dan diakhiri setelah spesimen uji dilakukan pengujian.
7. Setelah semua indikasi diskontinuitas dan waktu dicatat serta didokumentasikan maka pengujian/pemeriksaan dengan metode ECT selesai.
8. Langkah selanjutnya adalah menganalisis data yang didapatkan dari hasil pengujian ECT.



Gambar 3.25. Konfigurasi alat ECT.



Gambar 3.26. Indikasi pada spesimen uji.

BAB 4

ANALISA DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini disajikan analisa terhadap data yang telah diperoleh dari pengujian-pengujian yang telah dilakukan. Seluruh pengujian dilakukan dengan metodologi penelitian yang dijelaskan pada bab sebelumnya. Analisa meliputi hasil pengamatan data hasil pengujian *magnetic particle testing* (MT) *visible wet method* dengan menggunakan AC Yoke dan *eddy current testing* (ECT), dimana pengujian ini dilakukan pada material baja karbon rendah A36.

Pembahasan dilakukan pada kecepatan pengujian dan ketepatan hasil pembacaan dengan beberapa kondisi sebagai berikut:

1. Variasi panjang *crack/diskontinuitas* buatan pada setiap spesimen uji:
 - 2 mm
 - 3 mm
 - 5 mm
2. Ukuran *crack/diskontinuitas* buatan pada setiap spesimen uji:
 - Kedalaman *crack/diskontinuitas* = 3 mm
 - Lebar *crack/diskontinuitas* = 0.5 mm
3. Letak *crack/diskontinuitas* pada *weld metal*.
4. Menggunakan *magnetic particle testing* (*wet method*).
5. Menggunakan *eddy current testing*.

4.1 Analisa Hasil Pengujian *Magnetic Particle Testing* (MT)

Pengujian *magnetic particle testing* ini mengacu pada ASME *Boiler & Pressure Vessel Code Section V, Article 7, 2013 Edition* dan ASME *Boiler & Pressure Vessel Code Section VII Div. 1, Appendix 6, 2013 Edition*. Berikut ini adalah kondisi-kondisi saat dilakukan pengujian *magnetic particle testing* (MT):

1. Menggunakan AC Yoke (elektromagnetik).
2. AC Yoke sudah terkalibrasi.
3. Menggunakan *visible wet method*.
4. Panjang *crack/diskontinuitas* buatan 2 mm, 3 mm, 5 mm.
5. Kedalaman *crack/diskontinuitas* buatan 3 mm dan lebar 0.5 mm.

6. Pengujian dilakukan pada tiga spesimen uji dengan masing-masing spesimen uji dilakukan dua kali pengujian.
7. Waktu pengujian dimulai dari proses pembersihan permukaan spesimen uji dan diakhiri setelah spesimen uji dibersihkan serta dilakukan demagnetisasi.
8. *Area of interest* pada *weld metal*.

4.1.1 Kecepatan Pengujian *Magnetic Particle Testing*

Dari pengujian *magnetic particle testing* yang telah dilakukan maka diperoleh data kecepatan pengujian sebagai berikut:

Tabel 4.1. Data hasil waktu pengujian *magnetic particle testing*.

Plat No.	Test Sample ID	Lama Pengujian Ke-1 (Menit)	Lama Pengujian Ke-2 (Menit)	Rata-rata Lama Pengujian (Menit)
1	MT-01	8:34:29	7:27:30	8:00:59
2	MT-02	8:38:19	7:20:59	7:59:39
3	MT-03	8:35:58	7:21:27	7:58:42
Rata-rata waktu pengujian		8:36:15	7:23:19	
Waktu Pengujian MT				7:59:47

Tabel 4.2. Data hasil kecepatan pengujian *magnetic particle testing* ke-1.

Plat No.	Test Sample ID	Lama Pengujian Ke-1 (Detik)	Panjang Spesimen Uji (mm)	Panjang Weld Metal (mm)	Kecepatan Pengujian Ke-1 (mm/s)
1	MT-01	514	300	280	0.545
2	MT-02	518	300	280	0.541
3	MT-03	515	300	280	0.544
Kecepatan Pengujian MT Ke-1					0.543

Tabel 4.3. Data hasil kecepatan pengujian *magnetic particle testing* ke-2.

Plat No.	Test Sample ID	Lama Pengujian Ke-2 (Detik)	Panjang Spesimen Uji (mm)	Panjang Weld Metal (mm)	Kecepatan Pengujian Ke-2 (mm/s)
1	MT-01	447	300	280	0.626
2	MT-02	440	300	280	0.636
3	MT-03	441	300	280	0.635
Kecepatan Pengujian MT Ke-2					0.633

Dari data yang dihasilkan pada pengujian dengan metode *magnetic particle testing visible wet method* menggunakan AC yoke (Tabel 4.1), dapat dianalisa bahwa pada pengujian ke-1 waktu terlama yang dibutuhkan untuk melakukan pengujian *magnetic particle testing* didapat pada plat nomor 2 (MT-02), yaitu 8 menit 38 detik 19 mili detik. Sedangkan waktu pengujian tercepat didapat pada plat nomor 1 (MT-01), yaitu 8 menit 34 detik 29 mili detik. Hal ini disebabkan karena proses interpretasi pada plat nomer 2 banyak ditemukan indikasi palsu (*false indications*), dimana membutuhkan ketelitian lebih dari NDT *personnel*. Selanjutnya dapat dianalisa bahwa pada pengujian ke-1 waktu yang dibutuhkan untuk melakukan pengujian *magnetic particle testing visible wet method* menggunakan AC yoke, yaitu 8 menit 36 detik 15 mili detik.

Jika dilihat pada pengujian ke-2 waktu terlama yang dibutuhkan untuk melakukan pengujian *magnetic particle testing* didapat pada plat nomor 1 (MT-01), yaitu 7 menit 27 detik 30 mili detik. Sedangkan waktu pengujian tercepat didapat pada plat nomor 2 (MT-02), yaitu 7 menit 20 detik 59 mili detik. Hal ini disebabkan karena proses demagnetisasi pada plat nomer 1 lebih lama dibandingkan plat nomer 2, dimana sesuai dengan prosedur pengujian MT besarnya medan magnet diseluruh bagian material harus lebih kecil dari 3 (tiga) Gauss. Selanjutnya dapat dianalisa bahwa pada pengujian ke-2 waktu yang dibutuhkan untuk melakukan pengujian *magnetic particle testing visible wet method* menggunakan AC yoke, yaitu 7 menit 23 detik 19 mili detik.

Dari data hasil waktu pengujian *magnetic particle testing* pada Tabel 4.1., dapat dianalisa lebih lanjut terhadap kecepatan pengujian MT (Tabel 4.2. – 4.3.). Sehingga didapat bahwa rata-rata kecepatan pengujian MT ke-1, yaitu 0.543 mm/s. Sedangkan pada pengujian MT ke-2, yaitu 0.633 mm/s.

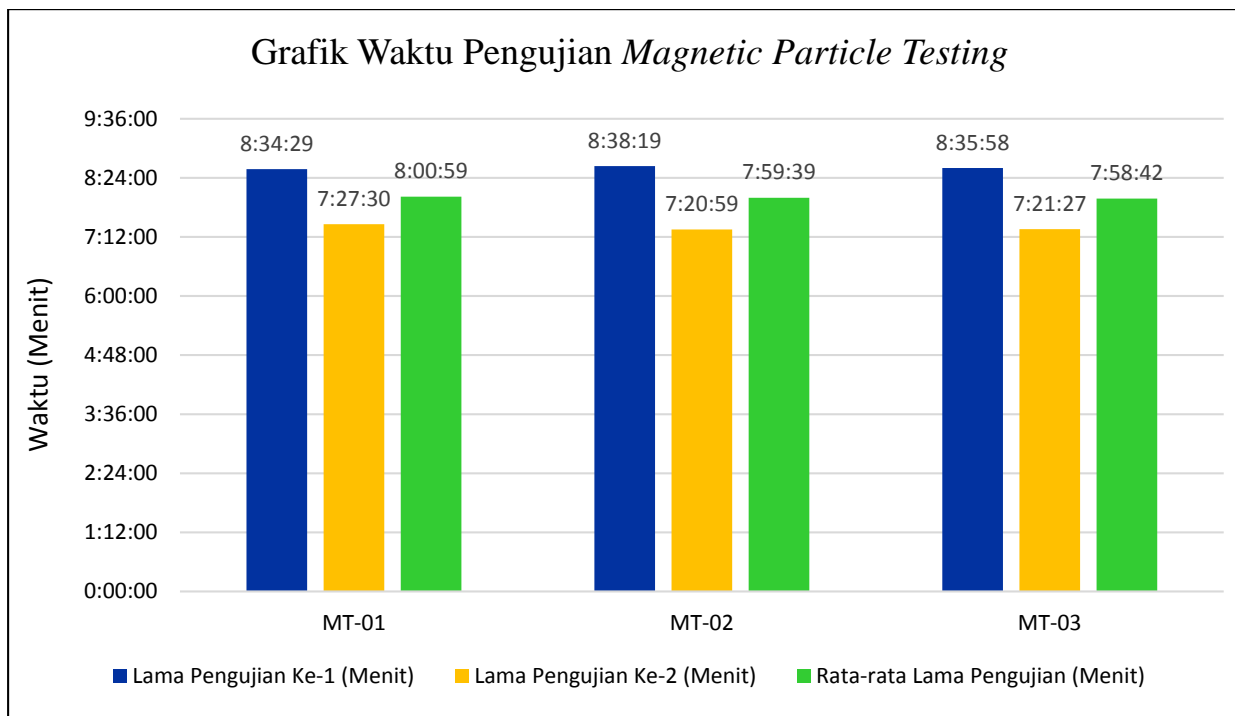
Tabel 4.4. Data hasil pengujian *magnetic particle testing*.

Waktu Pengujian Ke-1 (Menit)	Waktu Pengujian Ke-2 (Menit)	Rata-rata Waktu Pengujian MT (Menit)
8:36:15	7:23:19	7:59:47

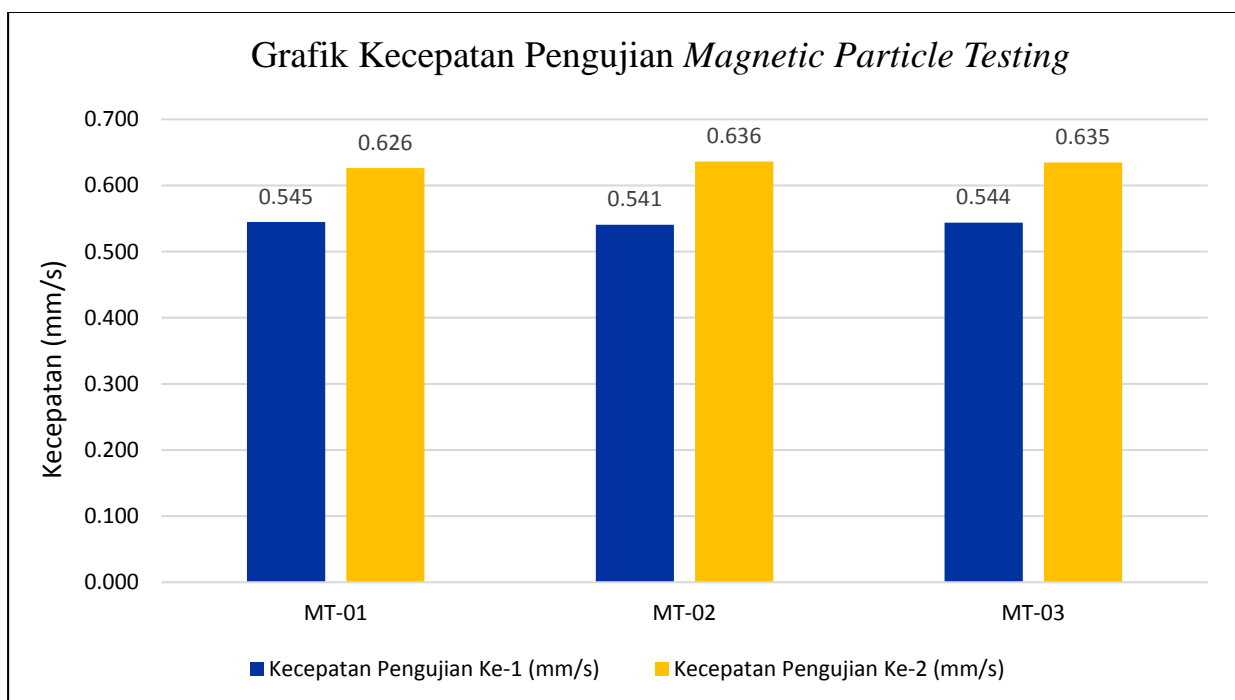
Kecepatan Pengujian Ke-1 (mm/s)	Kecepatan Pengujian Ke-2 (mm/s)	Rata-rata Kecepatan Pengujian MT (mm/s)
0.543	0.633	0.588

Dari data ini dapat diambil kesimpulan bahwa waktu dan kecepatan yang dibutuhkan untuk melakukan pengujian MT ke-2 lebih cepat dibandingkan dengan pengujian MT ke-1. Hal ini disebabkan karena pada pengujian ke-1 proses pembersihan permukaan material sebelum dilakukan pengujian MT lebih lama dibandingkan dengan pengujian MT ke-2. Dimana pada pengujian MT ke-1 spesimen uji belum dilakukan proses pembersihan material sebelumnya jika dibandingkan dengan pengujian MT ke-2 yang sebelumnya telah dilakukan proses pembersihan permukaan material. Selain itu proses demagnetisasi dan interpretasi juga berpengaruh terhadap lama pengujian MT.

Selanjutnya adalah membuat grafik perbandingan waktu pengujian MT dan perbandingan kecepatan pengujian MT. Grafik perbandingan tersebut dibuat untuk tiap-tiap pengujian (Gambar 4.1 & Gambar 4.2) dan kemudian di rata-rata agar dapat menentukan lama pengujian *magnetic particle testing visible wet method* dengan AC yoke (Tabel 4.4.). Sehingga dapat disimpulkan waktu yang dibutuhkan untuk melakukan pengujian *magnetic particle testing visible wet method* dengan AC yoke adalah 7 menit 59 detik 47 mili detik dengan kecepatan pengujian adalah 0.588 mm/s.



Gambar 4.1. Grafik waktu pengujian *magnetic particle testing*.



Gambar 4.2. Grafik kecepatan pengujian *magnetic particle testing*.

4.1.2 Ketelitian Pengujian *Magnetic Particle Testing*

Dari pengujian *magnetic particle testing* yang telah dilakukan maka diperoleh data interpretasi pengujian sebagai berikut:

➤ Plat Nomor 1

Tabel 4.5. Data hasil interpretasi MT-01.

Test Sample ID	Panjang Actual <i>Crack</i> Buatan (mm)	Panjang Indikasi <i>Crack</i> Buatan (mm)	Presentase (%) Kemampuan Pembacaan MT	Indikasi Tambahan
MT-01	3	3	100	<i>n/a</i>
	2	2	100	
	5	5	100	

➤ Plat Nomor 2

Tabel 4.6. Data hasil interpretasi MT-02.

Test Sample ID	Panjang Actual <i>Crack</i> Buatan (mm)	Panjang Indikasi <i>Crack</i> Buatan (mm)	Presentase (%) Kemampuan Pembacaan MT	Indikasi Tambahan
MT-02	2	2	100	<i>n/a</i>
	3	3	100	
	5	5	100	

➤ Plat Nomor 3

Tabel 4.7. Data hasil interpretasi MT-03.

Test Sample ID	Panjang Actual <i>Crack</i> Buatan (mm)	Panjang Indikasi <i>Crack</i> Buatan (mm)	Presentase (%) Kemampuan Pembacaan MT	Indikasi Tambahan
MT-03	2	2	100	<i>n/a</i>
	5	5	100	
	3	3	100	

Dari data yang dihasilkan pada proses interpretasi pengujian *magnetic particle testing visible wet method* dengan AC yoke dapat terlihat tidak adanya indikasi tambahan yang terlihat pada tiap spesimen uji. Berdasarkan Tabel 4.5. – 4.7., diketahui bahwa hasil pembacaan indikasi *crack* buatan sangat baik, terbukti pada semua spesimen uji hasil pembacaan indikasi *crack* buatan sama dengan actual *crack* buatan. Sehingga dapat disimpulkan ketelitian pengujian *magnetic particle testing visible wet method* dengan AC yoke adalah sangat baik dan tidak ditemukan indikasi tambahan pada tiga spesimen uji.

4.2 Analisa Hasil Pengujian Eddy Current Testing (ECT)

Berikut ini adalah kondisi-kondisi saat dilakukan pengujian *eddy current testing* (ECT):

1. Panjang *crack/diskontinuitas* buatan 2 mm, 3 mm, 5 mm.
2. Kedalaman *crack/diskontinuitas* buatan 3 mm dan lebar 0.5 mm.
3. Permukaan *weld metal* tidak diratakan.
4. Menggunakan *right angle surface probe*.
5. Pengujian dilakukan pada tiga spesimen uji.
6. Pengujian dilakukan dengan menjalankan *probe* di permukaan *weld metal* dan dilakukan pada tiga sisi permukaan *weld metal* (*toe – face/reinforcement – toe*).
7. Waktu pengujian dimulai dari saat *probe* dijalankan pada permukaan spesimen uji dan diakhiri setelah spesimen uji dilakukan pengujian.
8. *Area of interest* pada *weld metal*.

4.2.1 Kecepatan Pengujian Eddy Current Testing

Dari pengujian *eddy current testing* yang telah dilakukan maka diperoleh data kecepatan pengujian sebagai berikut:

Tabel 4.8. Data hasil waktu pengujian *eddy current testing*.

Plat No.	Test Sample ID	Lama Pengujian Ke-1 (Menit)	Lama Pengujian Ke-2 (Menit)	Rata-rata Lama Pengujian (Menit)
1	ET-01	7:11:54	6:55:34	7:03:44
2	ET-02	7:35:15	7:15:15	7:25:15
3	ET-03	8:03:49	7:35:43	7:49:36
Rata-rata waktu pengujian		7:36:59	7:15:31	
Waktu Pengujian ECT				7:21:15

Tabel 4.9. Data hasil kecepatan pengujian *eddy current testing* ke-1.

Plat No.	Test Sample ID	Lama Pengujian Ke-1 (Detik)	Panjang Spesimen Uji (mm)	Panjang Weld Metal (mm)	Kecepatan Pengujian Ke-1 (mm/s)
1	ET-01	431	300	280	0.650
2	ET-02	455	300	280	0.615
3	ET-03	483	300	280	0.580
Kecepatan Pengujian ECT Ke-1					0.615

Tabel 4.10. Data hasil kecepatan pengujian *eddy current testing* ke-2.

Plat No.	Test Sample ID	Lama Pengujian Ke-2 (Detik)	Panjang Spesimen Uji (mm)	Panjang Weld Metal (mm)	Kecepatan Pengujian Ke-2 (mm/s)
1	ET-01	415	300	280	0.675
2	ET-02	435	300	280	0.644
3	ET-03	455	300	280	0.615
Kecepatan Pengujian ECT Ke-2					0.645

Dari data yang dihasilkan pada pengujian dengan metode *eddy current testing* (Tabel 4.8), dapat dianalisa bahwa pada pengujian ke-1 waktu tercepat yang dibutuhkan untuk melakukan pengujian *eddy current testing* didapat pada plat nomer 1 (ET-01), yaitu 7 menit 11 detik 54 mili detik. Sedangkan waktu pengujian terlama didapat pada plat nomer 3 (ET-03), yaitu 8 menit 03 detik 49 mili detik. Hal ini disebabkan karena pada proses interpretasi pada plat nomer 3 banyak ditemukan indikasi tambahan yang lebih lanjut dibahas pada sub-bab selanjutnya, selain membutuhkan ketelitian lebih dari NDT *personnel* saat pengujian ECT pada plat nomer 3, *right angle surface probe* yang digunakan harus digerakkan berulang-ulang untuk memastikan bawah terdapat indikasi relevan (*relevant indication*) dan bukan indikasi palsu (*false indication*), dimana indikasi palsu tersebut dapat disebabkan oleh efek *liffoff*, permukaan material yang tidak rata, penggunaan *probe* yang tidak tepat, dan pergerakan dari *probe* tersebut saat pengujian (*tilting* dan *wobble*). Selanjutnya dapat dianalisa bahwa pada pengujian ke-1 waktu yang dibutuhkan untuk melakukan pengujian *eddy current testing*, yaitu 7 menit 21 detik 15 mili detik.

Jika dilihat pada pengujian ke-2 waktu tercepat yang dibutuhkan untuk melakukan pengujian *eddy current testing* didapat pada plat nomor 1 (ET-01), yaitu 6 menit 55 detik 34 mili detik. Sedangkan waktu pengujian terlama didapat pada plat nomer 3 (ET-03), yaitu 7 menit 35 detik 43 mili detik. Jika membandingkan plat nomor 1 dan nomor 2, terlihat pada dua kali pengujian *eddy current testing* perbedaan waktu antara kedua plat tersebut $\pm 10 - 20$ detik. Hal ini disebabkan pada plat nomor 1 dari pengujian pertama dan kedua tidak ditemukan adanya indikasi tambahan, lain halnya dengan plat nomor 3 pada pengujian pertama dan kedua terdapat perbedaan hasil interpretasi dimana pada pengujian kedua ditemukan indikasi tambahan yang tidak ditemukan pada pengujian pertama. Selanjutnya dapat dianalisa bahwa pada pengujian ke-2 waktu yang dibutuhkan untuk melakukan pengujian *eddy current testing*, yaitu 7 menit 15 detik 31 mili detik.

Dari data hasil waktu pengujian *eddy current testing* pada Tabel 4.8., dapat dianalisa lebih lanjut terhadap kecepatan pengujian ECT (Tabel 4.9. – 4.10.). Sehingga didapat bahwa rata-rata kecepatan pengujian ECT ke-1, yaitu 0.615 mm/s. Sedangkan pada pengujian ECT ke-2, yaitu 0.645 mm/s.

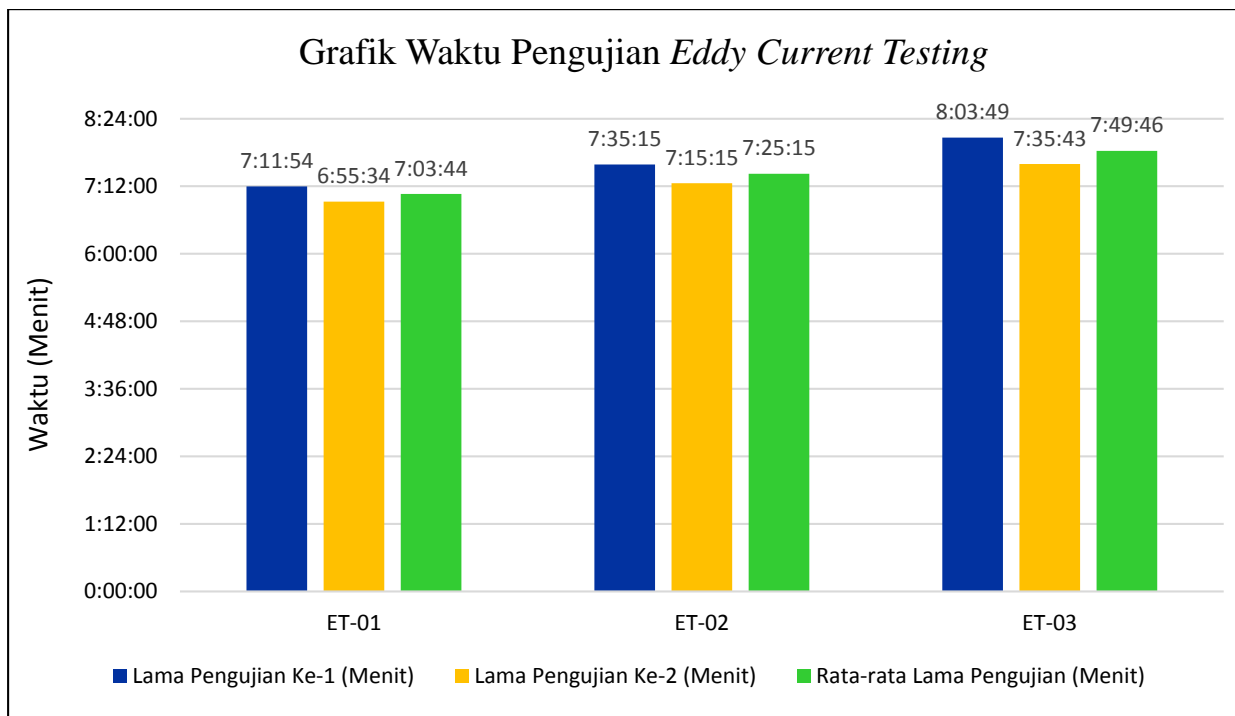
Tabel 4.11. Data hasil pengujian *eddy current testing*.

Waktu Pengujian Ke-1 (Menit)	Waktu Pengujian Ke-2 (Menit)	Rata-rata Waktu Pengujian ECT (Menit)
7:36:59	7:15:31	7:26:15

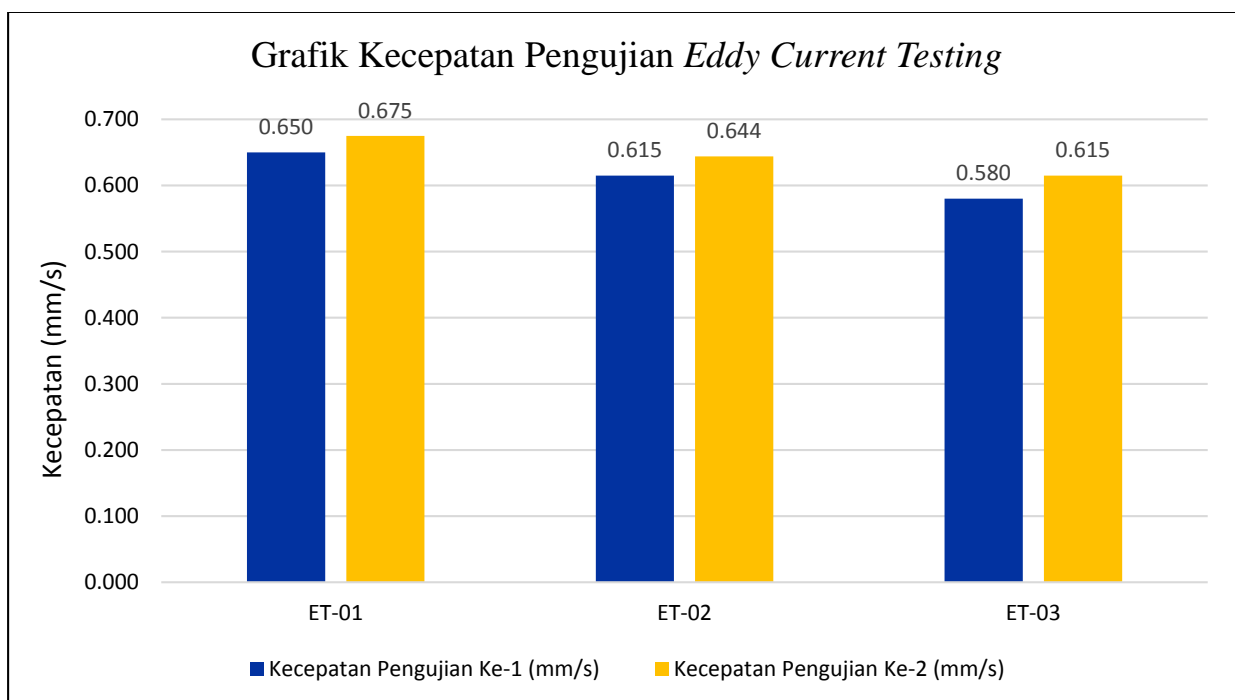
Kecepatan Pengujian Ke-1 (mm/s)	Kecepatan Pengujian Ke-2 (mm/s)	Rata-rata Kecepatan Pengujian ECT (mm/s)
0.615	0.645	0.630

Dari data ini dapat diambil kesimpulan bahwa waktu dan kecepatan yang dibutuhkan untuk melakukan pengujian ECT ke-2 lebih cepat dibandingkan dengan pengujian ECT ke-1. Hal ini disebabkan karena sebelum dilakukan pengujian ECT pada pengujian ke-1 alat ECT dilakukan proses kalibrasi dengan blok kalibrasi namun harus dilakukan penyesuaian konfigurasi kembali karena terdapat perbedaan *conductivity* dan *permeability* antara blok kalibrasi dan spesimen uji, dengan tujuan agar terlihat jelas perbedaan antara *liftoff probe* dan indikasi pada monitor instrumen. Selain itu efek *liftoff*, permukaan material yang tidak rata, penggunaan *probe* yang tidak tepat, dan pergerakan dari *probe* tersebut saat pengujian (*tilting* dan *wobble*) juga berpengaruh terhadap lama pengujian ECT.

Selanjutnya adalah membuat grafik perbandingan waktu pengujian ECT dan perbandingan kecepatan pengujian ECT. Grafik perbandingan tersebut dibuat untuk tiap-tiap pengujian (Gambar 4.3 & Gambar 4.4) dan kemudian di rata-rata agar dapat menentukan lama pengujian *eddy current test* (Tabel 4.11.). Sehingga dapat disimpulkan waktu yang dibutuhkan untuk melakukan pengujian *eddy current test* dengan *right angle surface probe* adalah 7 menit 26 detik 15 mili detik dengan kecepatan pengujian adalah 0.630 mm/s.



Gambar 4.3. Grafik waktu pengujian *eddy current testing*.



Gambar 4.4. Grafik kecepatan pengujian *eddy current testing*.

4.2.2 Ketelitian Pengujian *Eddy Current Testing*

Dari pengujian *eddy current testing* yang telah dilakukan maka diperoleh data interpretasi pengujian sebagai berikut:

➤ Plat Nomor 1

Tabel 4.12. Data hasil interpretasi ET-01.

Test Sample ID	Actual Crack Buatan	Indikasi Crack Buatan	Indikasi Tambahan
ET-01	Dibuat 3 (tiga) indikasi buatan	Ditemukan 3 (tiga) indikasi buatan	Ditemukan 2 (dua) indikasi tambahan

➤ Plat Nomor 2

Tabel 4.13. Data hasil interpretasi ET-02.

Test Sample ID	Actual Crack Buatan	Indikasi Crack Buatan	Indikasi Tambahan
ET-02	Dibuat 3 (tiga) indikasi buatan	Ditemukan 3 (tiga) indikasi buatan	Ditemukan 1 (satu) indikasi tambahan

➤ Plat Nomor 3

Tabel 4.14. Data hasil interpretasi ET-03.

Test Sample ID	Actual Crack Buatan	Indikasi Crack Buatan	Indikasi Tambahan
ET-03	Dibuat 3 (tiga) indikasi buatan	Ditemukan 3 (tiga) indikasi buatan	Ditemukan 4 (empat) indikasi tambahan

Dari data yang dihasilkan pada proses interpretasi pengujian *eddy current testing* dapat terlihat bahwa selain ditemukan indikasi *crack* buatan pada masing-masing spesimen uji, ditemukan juga indikasi tambahan dengan menggunakan metode *eddy current testing*, yaitu 2 (dua) indikasi tambahan pada spesimen uji ET-01, 1 (satu) indikasi tambahan pada spesimen uji ET-02 dan 4 (empat) indikasi tambahan pada spesimen uji ET-03. Dimana dari semua indikasi yang didapat pada pengujian dengan ECT tidak dapat diketahui secara pasti ukuran dan kedalaman indikasi tersebut, hanya perbedaan sinyal *phase* dan *amplitude* satu dengan yang lainnya dapat menunjukkan bahwa terjadi *wall lost*/kehilangan material akibat adanya indikasi pada spesimen uji tersebut. Semakin besar/tinggi perbedaan sinyal *phase* dan *amplitude* maka material yang hilang semakin besar. (Gambar 4.5. – 4.7.)

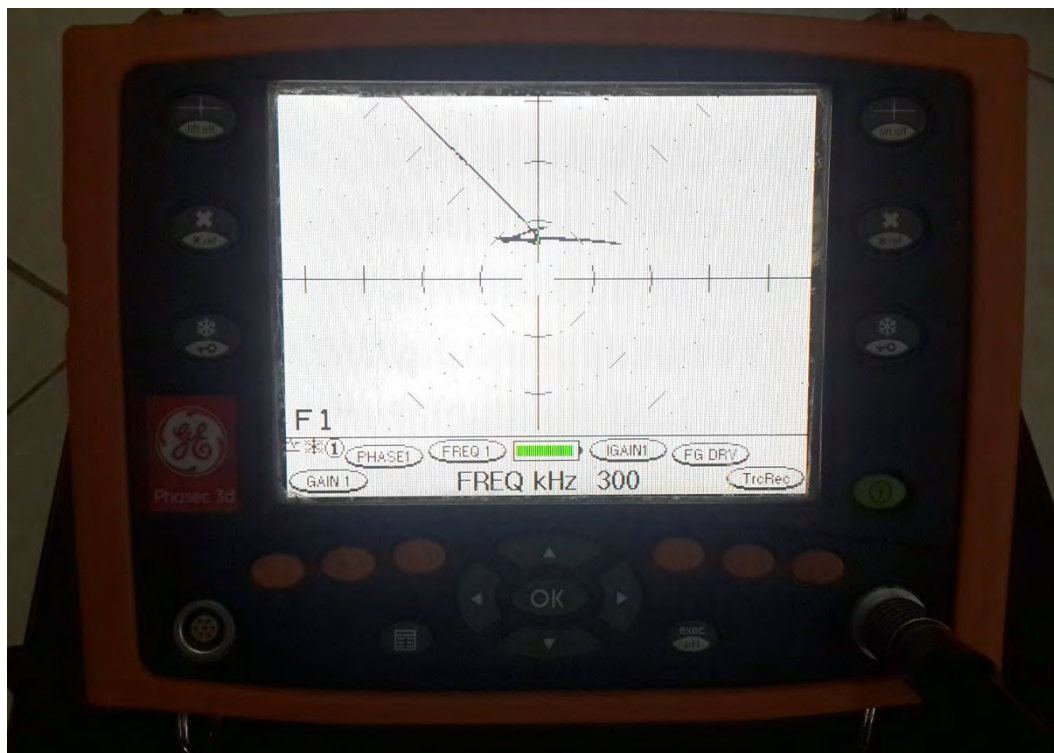
Selanjutnya untuk memastikan bahwa indikasi tambahan yang ditunjukkan pada pengujian *eddy current testing* adalah indikasi yang relevan atau indikasi palsu, maka dilakukan pengujian *magnetic particle testing visible wet method* dengan AC yoke.

Tabel 4.15. Data hasil interpretasi pengujian MT untuk indikasi tambahan.

Plat No.	Test Sample ID	Discontinuity #	Interpretasi	
			Jenis Indikasi Tambahan	Ukuran Indikasi (mm)
1	ET – 01	1	Linear Indication	3.5
		2	Linear Indication	4.0
2	ET – 02	–	<i>n/a</i>	<i>n/a</i>
3	ET – 03	1	Linear Indication	2.5
		2	Linear Indication	4.4

Dari Tabel 4.15 dapat terlihat bahwa tidak semua indikasi tambahan yang didapat pada pengujian ECT adalah indikasi relevan. Dari hasil pengujian MT pada plat nomer 2, indikasi tambahan tidak ditemukan, sedangkan pada plat nomer 4 hanya ditemukan dua dari empat indikasi tambahan. Hal ini dapat disebabkan karena tingkat sensitivitas pengujian ECT lebih tinggi dibandingkan dengan MT, selain itu penggunaan *probe*, permukaan material uji (*noise signal*), dan pergerakan dari *probe* juga berpengaruh terhadap hasil pengujian ECT. Gambar 4.8 – 4.11. menunjukkan indikasi tambahan yang muncul pada pengujian MT.

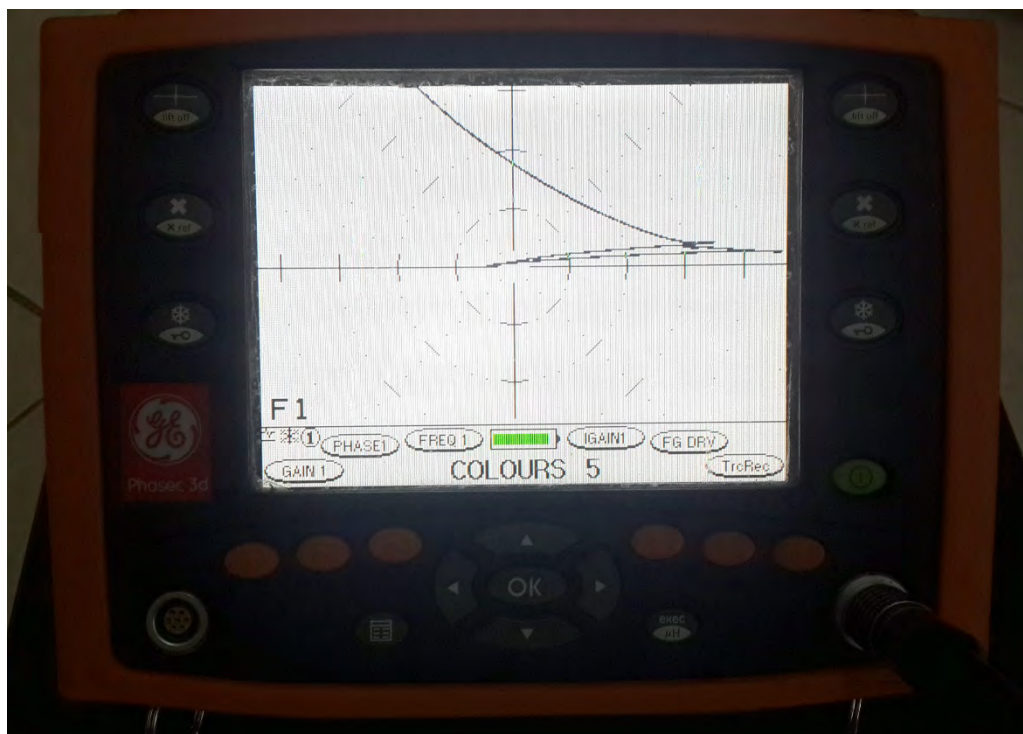
Berdasarkan Tabel 4.12. – 4.15., diketahui bahwa hasil pembacaan indikasi *crack* buatan sangat baik, terbukti pada semua spesimen uji hasil pembacaan jumlah indikasi *crack* buatan sama dengan jumlah indikasi actual *crack* buatan. Sehingga dapat disimpulkan ketelitian pengujian *eddy current test* dengan *right angle surface probe* adalah sangat baik dan ditemukan adanya 2 (dua) indikasi relevan tambahan pada spesimen uji ET-01, 1 (satu) indikasi palsu tambahan pada spesimen uji ET-02, 2 (dua) indikasi relevan tambahan pada spesimen uji ET-03, dan 2 (dua) indikasi palsu tambahan pada spesimen uji ET-03.



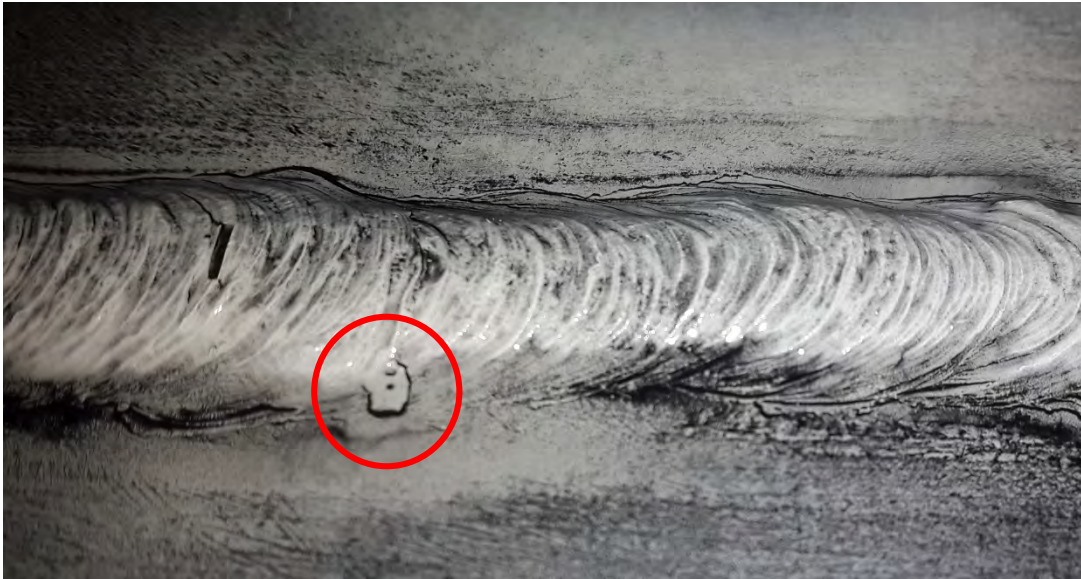
Gambar 4.5. Hasil sinyal dengan *crack* buatan 2 mm.



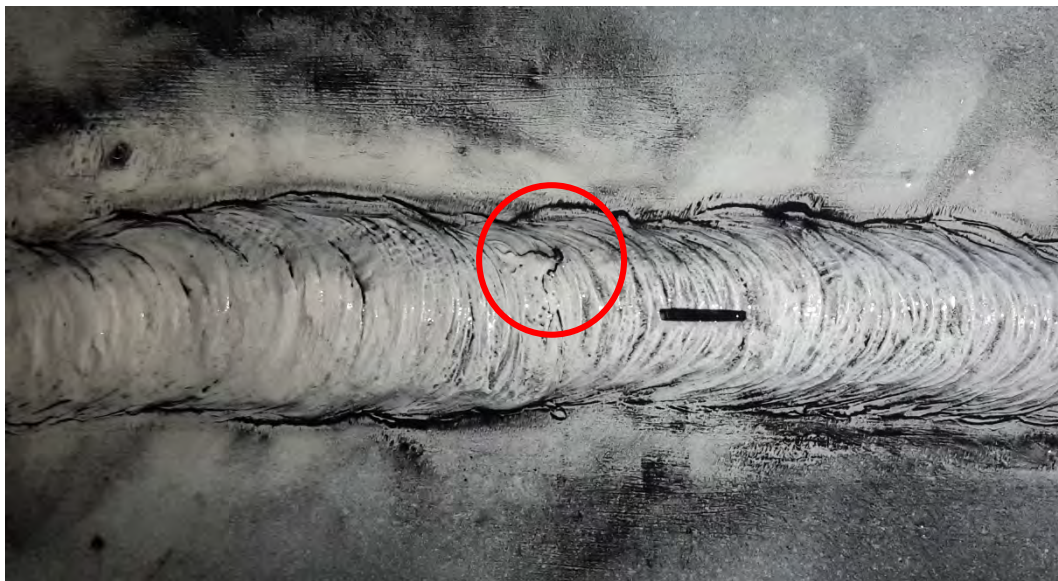
Gambar 4.6. Hasil sinyal dengan *crack* buatan 3 mm.



Gambar 4.7. Hasil sinyal dengan *crack* buatan 5 mm.



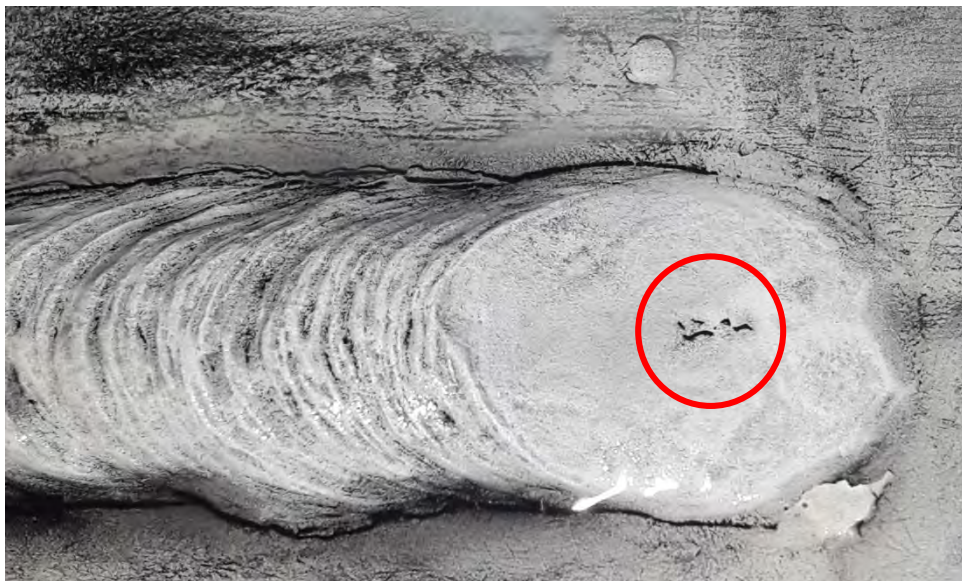
Gambar 4.8. Indikasi liner sepanjang 3.5 mm pada plat ET-01.



Gambar 4.9. Indikasi liner sepanjang 4.0 mm pada plat ET-01.



Gambar 4.10. Indikasi liner sepanjang 2.5 mm pada plat ET-03.



Gambar 4.11. Indikasi liner sepanjang 4.4 mm pada plat ET-03.

4.3 Analisa Hasil Kedua Pengujian

Dari dua pengujian yang dilakukan, tersajikan data hasil pengujian masing-masing. Untuk itu diperlukan analisa keseluruhan data dari setiap hasil pengujian tersebut untuk membandingkan secara langsung, sehingga dapat dilihat pada Tabel 4.16. dan Tabel 4.17.

Tabel 4.16. Rekapitulasi data hasil kecepatan kedua pengujian.

<i>Eddy Current Testing</i>			<i>Magnetic Particle Testing</i>		
Waktu Pengujian Ke-1 (Detik)	Waktu Pengujian Ke-2 (Detik)	Rata-rata Waktu Pengujian ECT (Detik)	Waktu Pengujian Ke-1 (Detik)	Waktu Pengujian Ke-2 (Detik)	Rata-rata Waktu Pengujian MT (Detik)
457	435	446	516	443	479
Kecepatan Pengujian Ke-1 (mm/s)	Kecepatan Pengujian Ke-2 (mm/s)	Rata-rata Kecepatan Pengujian ECT (mm/s)	Kecepatan Pengujian Ke-1 (mm/s)	Kecepatan Pengujian Ke-2 (mm/s)	Rata-rata Kecepatan Pengujian MT (mm/s)
0.615	0.645	0.630	0.543	0.633	0.588

Tabel 4.17. Rekapitulasi data hasil ketelitian kedua pengujian.

	<i>Eddy Current Testing</i>			<i>Magnetic Particle Testing</i>	
	Jumlah Indikasi Buatan	Jumlah Indikasi Tambahan	Jumlah Indikasi Revelan Tambahan Setelah Pengujian MT	Jumlah Indikasi Buatan	Jumlah Indikasi Tambahan
Uji Ke-1	9	7	4	9	n/a
Uji Ke-2	9	7	4	9	n/a

Jika ditinjau dari hasil kedua pengujian, maka didapat kesimpulan bahwa diantara kedua pengujian tersebut dari segi kecepatan pengujian metode *eddy current test* dengan *right angle surface probe* lebih cepat 0.042 mm/s atau 6.63% dari metode *magnetic particle testing visible wet method* dengan AC yoke. Sedangkan jika ditinjau dari segi ketelitian pengujian kedua metode tersebut sama-sama memiliki tingkat ketelitian yang sangat baik. Pada Tabel 4.17 dapat dilihat ditemukannya indikasi tambahan pada pengujian ECT, indikasi tambahan dapat diakibatkan oleh banyak faktor seperti proses pengelasan yang kurang baik, *ampere* pengelasan yang terlalu tinggi, dan lain-lain. Indikasi tambahan ini sudah dilakukan pengujian *magnetic particle testing* untuk memastikan bahwa memang terdapat indikasi relevan.

(Halaman ini sengaja dikosongkan penulis)

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa dan pembahasan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. NDT dengan metode *eddy current testing* (ECT) memiliki kecepatan pengujian lebih tinggi dari metode *magnetic particle testing* (MT). ECT lebih cepat 0.042 mm/s atau 6.63% dari metode *magnetic particle testing* dalam mendeteksi kerusakan permukaan. Hal tersebut dikarenakan metode ECT tidak memerlukan proses persiapan atau pembersihan permukaan material dan proses demagnetisasi, tetapi ECT membutuhkan proses kalibrasi dan membutuhkan NDT *personnel* yang cukup berpengalaman.
2. Berdasarkan hasil uji hipotesis diperoleh hasil bahwa NDT dengan *eddy current testing* (ECT) dan *magnetic particle testing* (MT) sama-sama memiliki tingkat ketelitian yang sangat baik dalam mendeteksi kerusakan permukaan, tetapi ECT pada penelitian ini tidak dapat menentukan secara pasti ukuran dan kedalaman dari indikasi tersebut, hanya dapat memperkirakan berdasarkan perbedaan sinyal *phase* dan *amplitude*. Selain itu ditemukan indikasi tambahan pada pengujian ECT indikasi tambahan ini sudah dilakukan pengujian *magnetic particle testing* untuk memastikan bahwa memang terdapat indikasi relevan.

5.2 Saran

Adapun beberapa saran untuk penelitian ini adalah:

1. Pada pengujian ECT permukaan material pada penelitian ini tidak dihaluskan dan terbatas pada penggunaan *right angle surface probe*, untuk penelitian selanjutnya baiknya permukaan material diratakan/dihaluskan agar mengurangi *noise signal* dan penggunaan variasi *probe* untuk pengujian *eddy current testing* (ECT).

(Halaman ini sengaja dikosongkan penulis)

DAFTAR PUSTAKA

- ASM. 2005. *ASM Handbook. Volume 17. Nondestructive Evaluation and Quality Control*. United States of America. ASM International.
- ASNT. 2007. *ASNT Level III Study Guide-Electromagnetic Testing*. Colombus. ASNT.
- Cartz, L. 1995. *Nondestructive Testing*. United States of America. ASM International.
- Hagemaier, D. J. 2002. *Fundamentals of Eddy Current Testing*. United States of America. The American Society for Nondestructive Testing Inc.
- Hellier, C. 2003. *Handbook of Nondestructive Evaluation*. United States of America. The McGraw-Hill Companies Inc.
- McIntire, P. 1989. *Nondestructive Testing Handbook*. United States of America. American Society for Nondestructive Testing Inc.
- Nde-ed.org. 2014. *Introduction to Eddy Current Testing*. Available: https://www.nde-ed.org/EducationResources/CommunityCollege/EddyCurrents/cc_ec_index.htm [Diakses 13 April 2015].
- Nde-ed.org. 2014. *Introduction to Magnetic Particle Inspection*. Available: https://www.nde-ed.org/EducationResources/CommunityCollege/MagParticle/cc_mpi_index.htm [Diakses 12 April 2015].
- Nde-ed.org. 2014. *Introduction to Remote Field Testing*. Available: https://www.nde-ed.org/EducationResources/CommunityCollege/Other%20Methods/RFT/RFT_index.htm [Diakses 7 Mei 2015].
- Ndt.net. 2000. *Quantitative In-Service Inspection using the Alternating Current Field Measurement (ACFM) Method*. Available: https://www.nde-ed.org/EducationResources/CommunityCollege/Other%20Methods/RFT/RFT_index.htm [Diakses 7 Mei 2015].
- Rosen. 2015. *Magnetic Flux Leakage*. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/Electromagnetic_testing [Diakses 25 Desember 2014].

- Smilie, R. W. 2000. *Classroom Training Handbook Nondestructive Testing Magnetic Particle* United States of America. PH Diversified Inc.
- Topp, D. 2002. *The ACFM Inspection Method*. England. TSC Inspection Systems.
- Tutorvista.com. 2014. *Types Of Magnets*. Available: <http://www.tutorvista.com/content/physics/physics-i/magnetism/magnet-types.php> [Diakses 12 April 2015].
- Wikipedia. 2013. *Electromagnetic Testing*. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/Electromagnetic_testing [Diakses 25 Desember 2014].
- Wirjosumanto, H. & Okumura, T. 1996. *Teknologi Pengelasan Logam*. Jakarta. Pradnya Paramita.

PROFIL PENULIS



RIZNANDA RAIS, Dilahirkan di Surabaya, 26 Maret 1994. Dibesarkan di Jakarta, anak kedua dari dua bersaudara dengan orang tua Ir. Rizal Razman, M.M. dan Ir. Nus Hutami Soemargo. Riwayat pendidikan formal Penulis dimulai dari TK Al-Ikhsan Jakarta Timur (1998-1999), SD Negeri 03 Pagi Jakarta Timur (1999-2005), SMP Negeri 109 Jakarta Timur (2005-2008), SMA Negeri 71 Jakarta Timur (2008-2011) dan pada tahun 2011 Penulis diterima melalui jalur SMITS (Seleksi Masuk ITS) di Jurusan Teknik Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya. Bidang studi yang diambil oleh Penulis adalah Rekayasa Perkapalan dengan fokus pada Konstruksi dan Kekuatan Kapal.

Semasa mengenyam pendidikan di Institut Teknologi Sepuluh Nopember di Surabaya, Penulis aktif dalam organisasi dan kegiatan yang ada di kampus. Terlihat dari pencapaiannya yaitu; asisten tidak tetap (grader) praktikum menggambar teknik pada semester genap 2011/2012, staff pada Semarak Mahasiswa Perkapalan (SAMPAN 7) pada 2012-2013, Kepala Divisi Departemen Hubungan Luar Himpunan Mahasiswa Teknik Perkapalan (HIMATEKPAL) dengan masa jabatan 2013/2014. Penulis juga terdaftar dalam organisasi profesi internasional seperti RINA (*The Royal Institution of Naval Architects*). Tak hanya itu, di sisi lain Penulis juga banyak mengikuti pelatihan untuk menunjang dan menjadi salah satu pakar di bidang maritim seperti; LKMM Pra-TD diadakan oleh BEM Fakultas Teknologi Kelautan ITS, *Autocad Intermediate Course* diadakan oleh Jurusan Teknik Perkapalan ITS, dan Pelatihan Maxsurf diadakan oleh Jurusan Teknik Perkapalan ITS.

Pada pertengahan tahun 2014, Penulis menyelesaikan *Internship* di PT. Daya Radar Utama (DRU) Shipyard, di Jakarta dan American Bureau of Shipping (ABS), di Batam. Pada awal tahun 2015, Penulis menyelesaikan persyaratan menjadi Autodesk Certified Professional: AutoCAD® 2014 #00399312. Melalui Tugas Akhir yang berjudul “Studi Perbandingan Kecepatan dan Ketelitian Antara Pengujian *Magnetic Particle Testing* (MT) dan *Eddy Current Testing* (ECT) pada Material Baja Karbon”, mengantarkannya menjadi Sarjana Teknik Perkapalan ITS.

Every decision you make, has a consequence. Good or bad, and every choice you make has the potential of changing the entire path in which your life is heading. So, be brave.

riznandarais@yahoo.com (+62) 8118112586